发现爱因斯坦
广义相对论
缺失的“最后一块拼图”



BLACK HOLE BLUES

and Other Songs
from Outer Space

“能够穿越星际的，
唯有引力波和爱。”

| 一手的翔实资料 | 烧脑的科学知识 |
| 精彩的人性故事 | 坚毅的科学精神 |

生动呈现引力波
长达14亿光年
的星际之旅。

[美] 珍娜·莱文——著
胡小锐 万慧——译

中信出版集团

VISIT...

LANZAROTE Caliente.COM

发现爱因斯坦
广义相对论
缺失的“最后一块拼图”



BLACK HOLE BLUES

and Other Songs from Outer Space

“能够穿越星际的，唯有引力波和爱。”

| 一手的翔实资料 | 烧脑的科学知识 |
| 精彩的人性故事 | 坚毅的科学精神 |

生动呈现引力波
长达14亿光年
的星际之旅。

[美] 珍娜·莱文——著
胡小锐 万慧——译

中信出版集团

引力波

[美] 珍娜·莱文 著
胡小锐 万慧 译

中信出版社

目录

推荐序

第1章 黑洞碰撞

第2章 宇宙的声音

第3章 广义相对论

第4章 引力波探测先驱

第5章 错误的宣言

第6章 “40米”实验室

第7章 蓝皮书与三巨头

第8章 发现脉冲星

第9章 实验室里的开拓者

第10章 汉福德天文台

第11章 臭鼬工厂

第12章 霍金的赌局

第13章 罗生门事件

第14章 利文斯顿天文台

第15章 一群探索宇宙奥秘的人

第16章 与时间赛跑

尾声

致谢

附录

注释

献给

沃伦、吉布森和斯特拉

没有什么比引领事物的新秩序更难把握、更冒险和更不确定的了。

——马基雅维利，《君主论》（1513）

推荐序
引力波关乎你我

你的职业也许跟科学研究相去甚远，或许你只是出于好奇偶尔翻开了这本书，引力波的字眼你可能只是在新闻报道里听说过。但我想说的是这并不是一本介绍引力波天文和物理的高冷科普读物，实际上它在探讨人、自然与科学的关系。它关乎你我。

发生碰撞的这一对黑洞，一个质量是太阳的29倍，另一个是太阳的36倍。在碰撞之前，两个黑洞相互绕着对方运行，此时，两个黑洞之间的距离仅为数百公里，运行速度非常接近于光速。当它们最终碰撞时，最后变成了一个质量是太阳的60多倍的黑洞，相当于3倍太阳质量的能量瞬间通过时空以引力波的形式光速辐射出去。而13亿年后，地球上的探测器捕捉到了它们运行的最后4圈，只持续了200毫秒，探测器4公里干涉臂的长度发生了相当于质子直径千分之一的空间变化。这一系列的数字的确让我们领略了自然的神奇，人类从没有如此贴近和聆听自然，无论从大尺度的宇宙黑洞，还是甚至要考虑到量子噪声的探测器的微观变化——引力波给我们展现了一幅前所未有、波澜壮阔、叹为观止的宇宙和自然图景。

难道你不觉得，人类自身更神奇吗？1916年，爱因斯坦发表论文预测了引力波的存在；100年后的2016年，激光干涉引力波天文台（LIGO）科学合作组织1　000多名科学家成功实现了引力波的直接探测。100年来人类探索引力波存在的努力从未间断过，而其中经历的种种更是在这本书里娓娓道来，有合作、奋斗与荣耀，也有争执、猜忌和斗争，有血有肉、历历在目。2004年一个偶然的机会，我加入了美国麻省理工学院的LIGO实验室，而在此之前我根本不知道什么是引力波，但从此以后我也从没放弃过对引力波研究的追寻。直到2015年9月14日那个引力波信号到来的时刻，根本没人敢相信那是一个真实的信号，它简单得近乎荒谬，与理论推断得出的引力波没有任何显著不同。人类的理性与自然的神奇在那一刻达成了前所未有的默契，而其中经历的是整整100年的科学探索。LIGO的创始人雷纳说：“最重要的是，我了却了一桩心愿”。2006年，我从麻省理工学院回到清华大学信息技术研究院工

作，搞引力波研究多少显得有些不务正业，引力波探测希望渺茫，我参与其中却也乐此不疲，究其原因我也说不太清楚。

自然是什么？人为什么会来到这个世界？每个人都有一颗与生俱来的好奇心。找一个寂静的下午，泡上一杯茶，放松一下你的身心，这是一本值得坐下来好好读读的书。

曹军威

2017年6月于清华园

第1章
黑洞碰撞

When Black Holes Collide

在宇宙的某个地方，两个黑洞发生了碰撞。这两个黑洞与恒星的质量差不多，体积却只有一般城市那么大，是真正意义上的黑洞（里面空荡荡的，没有一丝光）。在碰撞发生前的最后几秒钟里，它们在引力作用下一起绕着最终接触点完成了数千次的旋转，使时空发生了剧烈振荡。碰撞之后，这两个黑洞合并到一起，形成了一个更大的黑洞。黑洞碰撞是宇宙诞生之后威力最大的一个现象，释放出的能量超过10^{21}个太阳。碰撞发生时一片黑暗，爆炸产生的所有能量都不会以光的形式逸出，所以用任何望远镜都无法观察到。

黑洞合并时，无数能量以纯引力，也就是引力波的形式，不停地向四周传播，时空受到扰动而泛起涟漪。但是，即使有宇航员正好在附近，他也不会看见任何异常现象。不过，他所在的空间会发生铃振现象，对他挤压、拉伸，使他的身形发生变化。如果靠得足够近，他的听觉器官会随之振动，也就是说，他可以“听见”引力波。在空无一物的黑暗中，他可以听见时空发出的声音（如果黑洞没有夺走他的生命）。引力波就像不需要物质媒介的声音，在黑洞相互碰撞时，就会发出这样的声音。

没有人听过引力波的声音，也没有任何仪器留下清楚无误的记录。虽然引力波以光速传播，但是从碰撞点传播到地球可能需要10亿年的时间。在到达地球之前，黑洞碰撞发出的声音已经非常微弱了，以至于用语言根本无法形容，如此微弱的声音我们肯定难以察觉。在引力波抵达地球时，空间的鸣响会引起距离的相对变化，在相当于三个地球并排的

跨度上位移一个原子核的宽度。

半个世纪之前，一股记录天空中各种声音的潮流悄然兴起。LIGO是美国国家科学基金会（NSF，为基础性科学研究提供支持的美国联邦政府独立机构）迄今为止投入最多的项目，包括两台探测器，分别位于华盛顿州汉福德和路易斯安那州利文斯顿，各占地4平方公里。LIGO的综合成本超过10亿美元，参与合作的全球科学家和工程师有数百人之多，是所在专业领域几十年来科技创新工作的一个标志性成果。

在过去几年里，为了提升探测能力，这两台机器都处于脱机状态。一名实验人员告诉我，机器的所有部件都被更换了，除了那个空空如也的管道（真空管）。与此同时，世界各地的科研团队都在进行紧张的计算，希望可以预测宇宙最喧闹的状态何时到来。理论学家则利用这段时间设计数据算法，建立数据库，并想尽办法充分利用这些工具。为了“在相当于地球周长1 000亿倍的距离范围内测量出比人的头发的直径还要小的变化”，许多科研人员全身心地投入其中。

如果探测到引力波，人们有望在随后几年里取得丰硕的成果，因此位于地球上的天文台渴望记录天文巨变从不同方向、不同距离传到地球上的声音。死星发生碰撞，古老的恒星发生爆炸，还有曾经发生的宇宙大爆炸，所有这些高冲击强度的混乱状况都有可能引起时空振荡。从伽利略用一架简陋的望远镜观察太阳开始，人类把400年来拍摄的一系列静止的天空照片，汇编成一部讲述宇宙历史的无声电影。在这些天文台投入使用期间，科学家们将为这部电影配上一首不是很悦耳却非常热闹的主题曲。

在这个尝试测量时空形态微弱变化的具有里程碑意义的实验中，我身兼数职：首先是作为一名科研人员，希望为一个庞大的科学领域做出自己的贡献；其次是作为一名初学者，希望深入了解干涉仪；最后是作为一名作者，用手中的笔记录人类在黑洞研究活动中取得的重大进展。随着全球范围内争相建造引力波天文台的热度逐渐消减，这个领域即将有重大发现的前景牢牢地吸引了人们的注意力。不过，仍然有人强烈怀疑它最终能否取得成功。



尽管在开始的时候，LIGO项目面临诸多困难：争议不断，权威科学

家表示反对，团队内部斗争十分激烈，技术上也一筹莫展。但是，LIGO项目没有被击垮，而是摆脱了阴影，不断变强，走上了发展的道路。50年前，使用一个无比庞大的机器去捕捉极其微弱的声音，还仅仅是人们的一个遥远的梦想，而现在已经万事俱备，只欠东风了。在20世纪60年代，这个灵光乍现而来的思想实验仿佛一首令人莞尔的俳句诗，而现在它已经变成由金属和玻璃制成的实物。2015年秋，在爱因斯坦提出引力波预言的100周年之际，改进后的LIGO探测器开始记录太空传来的声音。在一两年（也有可能是三年）之内，这些机器就会达到最灵敏的状态。上一代的机器证明这个概念是可行的，但成功却不是唾手可得的，因为大自然并不总是按人类的意愿行事。这些高精尖的机器可以自动锁定目标，也可以由人来完成调整、修正、校准等操作。如今，这些机器静静地等待着捕捉某个非同寻常的信号，科学家们也摒除疑念，坚持完成最后的工作。

本书既是一部引力波编年史（是宇宙历史的有声记录，也是为那部无声电影谱写的主题曲），又是献给那些矢志不渝、坚持不懈的实验人员，以及愚公移山式科学精神的一首赞歌。

第2章
宇宙的声音

High Fidelity

下午6点，我站在麻省理工学院的一栋建筑前面，等人来为我开门。作为一个机构的总部，这栋大楼显得非常安静。这时候，一名研究生骑着自行车过来了。她跳下车，搬着自行车爬了几级台阶，然后打开门锁。等我走进去之后，她指着自己身后的大厅告诉我："雷纳的办公室就在那儿。"接着，她一只脚踏上脚蹬，溜着自行车朝前滑行。之后，她再一次跳下车，进入一间装有灰白色门的办公室。雷纳办公室的门与那扇门一模一样。我不禁想，人们住宾馆时经常走错房间，雷纳他们会不会走错办公室啊？

雷纳·韦斯向我挥挥手，邀请我进入他的办公室。尽管我们是第一次见面，但从事科学研究的相同经历是一种强效黏合剂，拉近彼此距离的效果甚至好过同乡、同龄人。我们靠着两把与房间风格不搭调的椅子的椅背，脚放在同一个凳子上。交谈时，我们直接略过俗套的寒暄进入主题，气氛十分友好，就像相识多年的朋友。

"我的人生道路始于一个梦想：我希望可以轻轻松松地听音乐。大概是1947年，社会上掀起了高保真音响的流行浪潮。虽然我当时还是一个孩子，但我制造出第一代高保真音响。生活在纽约市的移民大多喜欢听古典音乐。

"看到那边的扬声器了吗？那是我从布鲁克林的一家电影院淘来的。电影银幕后面放着一堆这样的扬声器，我弄到了20个，然后拖拽着它们上了地铁。当时，布鲁克林派拉蒙电影院刚刚经历了一场火灾，所以电影院淘汰了这些扬声器。就这样，我拥有了电影工作室的专业扬声器。

我设计的电路也非常棒。此外，我还弄到了一台调频收音机。之后，我经常邀请朋友来我家听纽约交响乐团的演奏。那种感觉简直无法想象，我们就像坐在剧院里。从扬声器里传出来的音乐简直太美妙了！”

雷纳示意我观看扬声器内部的圆锥形金属结构。扬声器的外壳做工粗糙，显得极其笨重，在现代设计中早已被摒弃。但是，除此之外，这个在1935年前后生产的扬声器并不像一件年代久远的产品。从技术上看，它不像20世纪30年代的必需品，而更像20世纪70年代放纵生活的产物。他的办公室里还堆放着从其他设备上拆卸下来的金属外壳，因此扬声器并不是那么显眼。科学家们正围着这堆设备忙个不停，摆弄着一台基于20世纪60年代思想实验制造的引力波探测器。当时，雷纳希望制造一个装置，用来记录时空振荡发出的声音。后来，他才发现他并不是第一个产生这种想法的人。这个实验堪称科学界远大理想的一个典范，它的影响力已经超出了这栋大楼，甚至超出了马萨诸塞州剑桥市的范围。为这套装置研发零部件的实验室坐落在隔壁大楼的地下室里，但是全套设备的组装却被安排在其他地方进行。



2005年，雷纳放弃了麻省理工学院物理学教授这个令人尊敬的职位，一心一意地待在4 000米长的混凝土管道里，为激光真空管接装示波器，检查18 000立方米的真空管是否有渗漏，测量潮湿阴冷、黄蜂成群的密闭空间中发生的地震振动。雷纳选择退休的主要目的是重拾学生身份，但是，由于被授予了荣誉退休教授的重要头衔，他开始了令人羡慕的“退而不休”的生活。

雷纳在说话时会强化重音，这是一代纽约人的特点。他标准的美国口音中混杂了些许欧洲口音，偶尔还有德国人那种抑扬顿挫的语调。这些特点融合在一起，给我一种熟悉的感觉，不仅让我想到了他的出生地，还让我想到了他出生的那个时代。1932年，雷纳出生于德国柏林，他的父亲弗雷德里克·韦斯来自一个富裕的犹太家庭（雷纳的祖母出身于显赫的拉特瑙家族。雷纳的性格特点“非常像德国人，还有点儿像犹太人”），具有叛逆精神。雷纳的母亲格特鲁德·罗斯纳不是犹太人，据雷纳介绍，她同样具有叛逆精神。“不知道是怎么一回事，他们俩走到了一起。”雷纳的语气似乎是在暗示，其中有我们永远无法了解的秘密。后来，他揭开了这个秘密：“然后，我就来到了这个世界。但是，他们那时

候还没结婚呢。”

与在他家客厅里欣赏交响乐的其他移民一样，雷纳在谈到自己的人生经历时也是津津乐道。也许他说话的腔调就是这样形成的吧。不过，他的描述与实际情况并不相同，因为他的人生历程早在埃利斯岛[1]上交换文件之后不久就拉开了帷幕。雷纳的父亲是一名神经科医生，在柏林的一家工人医院工作。后来，纳粹把触角伸到了这家医院。他们的一名内线做手术时操作不当，导致一名病人死亡。雷纳的父亲政治觉悟很高，他把这次医疗事故报告给权力已被削弱的医院领导。结果，出于报复心理，纳粹在大街上抓住了他，并把他关在地牢里（雷纳的家人没有提到这个地牢的具体位置）。要不是格特鲁德在新年前夕怀上雷纳的话，弗雷德里克可能无法重见天日了。身怀六甲的妻子与她在魏玛共和国地方政府工作的父亲竭尽全力，终于救出了弗雷德里克。虽然弗雷德里克获得了自由，却被迫远走他乡。

弗雷德里克越过边境线，进入捷克斯洛伐克境内。不久后，雷纳的父母在那里团聚。雷纳一直很奇怪，他的父母之间的争吵似乎从来没有停止过（他们认为自己的婚姻不美满是由希特勒造成的），而他母亲竟然在1937年怀上了他的妹妹西比尔·韦斯。为了缓和紧张的家庭关系，他们全家来到了波兰边境的塔特拉山脉，开始了首次家庭度假之旅。在旅馆的大厅里，一台古老的木质哥特收音机深深地吸引了雷纳。这台带有发光管的收音机正在播放张伯伦的绥靖主义外交政策（在它的影响下，捷克斯洛伐克的部分领土最终被德国侵占）。他们转动收音机的旋钮，锁定张伯伦的声音，以便准确无误地了解关键信息。根据雷纳的描述，当时有大批惊慌失措的德国侨民（其中很多是犹太人）开始行动，希望在政策生效之前逃出山区，前往布拉格，最终离开捷克斯洛伐克。雷纳回忆说：“我们逃出来了，真是太幸运了。我的父亲能逃出来，肯定是因为他是一名医生。好多人都没能逃出来。”

到了纽约之后，雷纳的母亲靠打零工维持整个家庭的生计。这种情况一直持续到几年之后雷纳父亲的精神分析诊所开业。雷纳说：“我进入了纽约的哥伦比亚初级中学，和默里·盖尔曼（1969年的诺贝尔物理学奖得主）成为校友。他比我高几届。人们总是拿我和他做比较，然后用‘那个家伙无所不知，而你就是一个废物’之类的话贬损我。”

在人们刚刚拥有调频收音机时，雷纳就已经可以凭借他掌握的电子学知识制造扩音器，增强收音机的效果了。他还趁机做了一点儿小生

意。他的第一个顾客与他没有血缘关系，但有姻亲关系，雷纳称这位顾客为“露丝婶婶”。现在，雷纳已经记不清他的第一笔生意赚了多少钱（我也没有问他），他记得自己只收了成本价。之后，雷纳成为一名企业家，把他的产品卖给那群渴望拥有高保真音响的移民。这些人在听到清楚的乐曲从雷纳的产品中传出来之后，他们的口口相传让产品的销量迅速增加。

雷纳回忆说：“当时，人们使用的是虫胶唱片。这是一种最原始的唱片，有嘈杂的背景音。但是，黑胶唱片就没有这个问题。虫胶唱片有时还会发出很刺耳的声音，就是那种‘嘶嘶嘶’的背景音。你知道，唱针就是靠唱片粗糙表面的摩擦力推动的。当时我就想，有没有什么办法可以消除这些可恶的嘈杂声呢？

“在播放贝多芬奏鸣曲中婉约舒缓的乐章时，你的耳朵里会充斥那种‘嘶嘶’的声音。怎么办呢？如果你同时听到很多种声音，这种‘嘶嘶’声就会被盖住。于是，我准备设计一个电路，通过改变带宽的方式达到放大声音的目的。但是，我知道自己的知识结构还不足以独立完成这个任务，于是我决定上大学去学习这些知识。

“就这样，我来到了麻省理工学院。我选择学习音频工程，因为我不知道还有其他什么学科。但我很快就发现，我的理想并非成为一名工程师。于是，我申请转到物理系，具体理由是什么，我也不知道……好吧，跟你说实话，那时候我的想法非常简单，就是因为物理系的要求没有其他系那么严格，而我又非常任性，不想遵守任何规定。”

雷纳很肯定地告诉我，麻省理工研究团队的所有成员都还没下班。透过敞开的门，我看见一些人在埋头工作。隔壁实验室里的人就更多了。办好登记手续之后，我们走进了研发实验室。实验人员有的席地而坐，正在整理电缆；有的在光学工作台上工作；有的在操作某种发出刺耳噪声的工具；有的手拿护目镜，双眼盯着一个老旧的示波器，在诊断某个故障。我发誓，我真的看到了一张软盘！我猜想这张软盘在制作上多半达到了令人赞叹的水平，因此我盯着它仔细端详了很长时间。体力劳动加上丝丝入扣的分工协作，再加上及时反馈机制，共同成就了一台机器。在某些层面，权力呈现出一种水平结构。每个人似乎都充分了解工作内容，整个团队就像一个结构复杂的蚁群，以一种不疾不徐的节奏有条不紊地运转。一项工作完成之后，团队成员会马不停蹄地开展下一项工作。每位科学家的注意力都非常集中，他们所从事的研究工作决定

了他们关注的都是微小的内容。每个人都训练有素，而且准备充分，足以承受长时间的棘手工作给身心带来的巨大压力。一名研究生正在小心翼翼地调整光学工作台上的一台精密仪器。100年前（可能更早），爱因斯坦预测时空并不是永恒不变的。现在，这些人正在齐心合力制造一台超敏感装置，记录从太空传来的声音。

他们建造的不是望远镜，而是一台记录装置。如果他们最终取得成功，这台兼具科研仪器与乐器两大功能的设备就可以记录空间形状的微小变化。只有质量非常大的天体完成最剧烈的活动，时空才会发生足以被探测器捕捉到的振荡。黑洞碰撞会引起时空波动，中子星、脉冲星的碰撞，恒星爆炸和天体物理学上难以想象的时空瀑布也会产生类似的效果。空间距离的收缩与膨胀就像大海的波浪，以时钟节奏在宇宙中（也就是在时空中）向前传播。引力波不是声波，但只需借助模拟技术，就可以把引力波转变成声音，与传统扩音器将电吉他琴弦的波动转变成声音的原理非常相似。打一个不是特别贴切的比方，天文灾害就是弹奏吉他的拨片，时空就是琴弦，实验中使用的这套设备就是吉他的琴箱。如果为这个比喻增加几个维度，天文灾害就相当于鼓槌，时空就是三维皮鼓的鼓皮，实验设备的作用就是在皮鼓将无声乐谱变成乐曲的时候记录下皮鼓在形状上发生的变化。科学家坐在控制室里，监听探测器捕捉到的声音。尽管这些声音已经接受了从商店买来的扬声器的放大处理，但他们听到的仍然是一些嘈杂的背景音：“嘶嘶”。



麻省理工学院的这些设备非常珍贵，但是放到整个LIGO项目中就显得微不足道了。LIGO项目的总部设在加州理工学院，有一台原型机也放在那里。不过，与在汉福德和利文斯顿的那两台探测器相比，这台原型机也显得微不足道。雷纳问我：“你还没去现场看过吧？准备什么时候去？等你亲眼看到之后再说吧。”他靠在椅背上，脸上再次露出非常惊讶的神情。那两台探测器的长度大约是雷纳制造的第一台原型机的2 500倍。我也靠在椅背上，想象着两者之间的比例关系。接着雷纳说道：“去现场参观过的人并不多。”

从上大学开始，雷纳为了从事科研工作，就一直奔走在剑桥市纵横交错的街道上，尽管在走出肯德尔广场地铁站的那一刻，他就发誓要回到纽约。那是9月的一个阴冷潮湿的上午，剑桥市（波士顿这个制造业

中心的角落）正散发着阵阵臭气。用动物尸体提炼物、动物脂肪制成的肥皂，与蛋黄酱、腌菜混合在一起，成了一种深棕色的东西，让人闻后恶心不已。但是，他没有兑现这个誓言，而是在这个发出一股股刺鼻气味的城市中待了下来。他之后的人生基本上都是在剑桥市度过的，其间只因为一些必要的原因离开过几次，而且时间都不长。不过，在麻省理工学院学习的头几个月里，他没有表现出一丝一毫的桀骜不驯。

“后来，我坠入了爱河。我就像个傻瓜，觉得自己不应该这样下去。于是，我退学了，并追随那个女孩来到了芝加哥。她是一名钢琴演奏者，因为她，我的生活发生了改变。在那之前，我没想学习弹钢琴，但是遇见她之后，我开始学习弹钢琴。我记得自己那时候已经20岁了，甚至更大。这一切都是因为她。

“多年之后初次接触引力波时，我心里想：‘啊，LIGO涉及的频率范围与钢琴是一模一样的。’

“这么说吧，那时的我被爱情冲昏了头脑，根本不去考虑未来会怎么样。后来，那个女孩爱上了另一个家伙。人绝对不能相信爱情，我的意思是，你不能沉溺于爱情。你应该知道爱情是怎么一回事。于是，我又回到了麻省理工学院，开始物理学的学习和研究。但同时我也背上了中途退学的不良记录。”

从大学退学的雷纳在职场上闯荡无果后，又回到了麻省理工学院，住进了“二战”期间作为应急措施在校园角落草草搭建的“夹板宫殿”。这些用木头搭建的临时建筑摇摇欲坠，预期寿命不超过几年时间，原计划在战争期间使用，战后几个月会被拆除。这些房屋吱嘎作响，不仅四面透风，而且被煤烟熏得漆黑，住在里面非常不舒服，窗户偶尔还会被风吹落到临近麻省理工学院的瓦瑟大街上。但是，它们的耐受力却非常强，坚持了几十年的时间，尽管它们的用途在其间多次发生变化。除了麻省理工一直偏爱的编号体系赋予它一个看不出任何含义的楼号以外，20号楼始终没有任何正式的名称，“夹板宫殿”应该是最适合它的绰号了。虽然外观简陋，但是在5名科学家进入这栋临时性建筑工作之后，“夹板宫殿”一夕之间变成了一个传奇的存在。夹板墙和天花板上被凿出一个个孔洞，水电线路通过管道从头顶上和薄薄的挡板中间接进来。伴随着屋外的喧嚣声，创意接踵而至，穿过那热得发烫的沥青屋顶和石棉隔热层，闯进这些科学家的大脑。这栋简陋不堪的三层建筑似乎不仅为他们提供了科研场所，还帮助他们摆脱了各种思想的桎梏。至少

有9人因为在20号楼的研究而获得诺贝尔奖，涵盖雷达、语言学、神经网络、声频工程、引力物理学等研究领域。人们在分析这个文化现象时不禁问道：“到底是什么原因激发了如此旺盛的创造力？”1998年，颠覆了人们的预期、存在50年之久的“夹板宫殿”被拆除了。科研人员、附近的居民以及在那片操场上玩耍的孩子们，亲眼见证了这个历史时刻。

雷纳就像在国家征用权斗争中财产被征收一方中的最坚定的抵制者，坚决反对拆除这栋建筑。在“夹板宫殿”里，科学家们经常见面，不经意产生的交集可遇不可求，有着非常重要的意义。有一次，雷纳帮助一位生物学家处理了一只死猫。雷纳说：“嗯，那只猫（当时）还没死，不过就快死了。”那个家伙用那只可怜的猫做实验，结果连接在猫身上的电子器件发生了故障。雷纳克制着自己的同情心（他不敢看那只可怜的猫），帮助那位生物学家从猫身上采集了一些数据。雷纳轻描淡写地说道：“我们就是一个非常有意思的团队。”

当年，雷纳在这栋简陋的三层小楼里四处打听：“请问你们需要人手吗？”如今，60年已经过去了，雷纳几乎没有什么变化（尽管在某些方面有所改变）。那时候，真的有人需要人手。于是，雷纳开始了做实验室检验员的工作，两年之后，他再次恢复了学生身份。雷纳回忆说：“读研究生期间，我非常快乐。其间，我结婚了。我的妻子怀孕后，这段快乐的时光就结束了。我必须走出校园，不是吗？但是，我宁愿永远当一名研究生，因为研究生的生活太美妙了。我可以不停地做实验，永远不用考虑金钱这类问题。就这样，我做了一个又一个实验，有的实验还非常荒唐。”拿到学位之后，雷纳先后在塔夫茨大学和普林斯顿大学工作了一段时间，最后又回到麻省理工学院，成为一名教授。雷纳告诉我，他不喜欢普林斯顿的天气。他这样说似乎是为了避免我进一步发问。

LIGO探测器的灵感产生于课堂之上。当时，雷纳还是一名助理教授，负责讲解爱因斯坦的“弯曲时空”这个晦涩难懂的理论。雷纳告诉我：“（麻省理工学院的人）可能会想：这个家伙去过普林斯顿大学，肯定对相对论有所了解吧……其实，我对相对论的了解非常有限。我指的是广义相对论，而不是狭义相对论。

“但是，我不能坦率地告诉其他人我不了解广义相对论。我在这里开展的研究项目，研究的不就是万有引力吗？我能告诉他们我不懂广义相对论吗？因此，我没有坦白……就这样，我给自己找了一个大麻烦：我必须比学生早一天弄明白讲授的内容。现在，所有人都要面对这种局

面，而我早就在这样做了。我无法拒绝这个任务。

“于是，我开始在课堂上讲授相对论。现在，这门课在LIGO项目里占有非常重要的地位，因为整个项目就脱胎于这门课程。那是1968年，或者是1969年。就像我刚才讲的那样，我必须比学生早一天弄明白讲授的内容。这里面的数学知识让我吃尽苦头，我通过思想实验，努力弄懂所有内容。要知道，我是在自学这些内容。我不停地学习，因为这些数学知识太难了，我完全不懂。但是，我没有放弃。学习这门课的学生都非常不错，他们知道我也学得十分吃力，对我表示理解。令他们感兴趣的是，我上课时总在不停地介绍我的实验知识，这种现象非常罕见。你知道，教授广义相对论的人通常不会关注这些实验……学生们没有放弃这门课，是因为我教给他们的那些东西中有很多在其他地方学不到。

“学生们要求我讲解引力波方面的内容……我使用的教学材料是爱因斯坦的德语论文，因为我会德语……我从这些论文中得到了一个启示：让光束在物体之间来回运动，再测量这些光束的变化。这个方法并不复杂，但却非常新颖。这是整个广义相对论中，我唯一理解的内容。

“于是，我以思想实验的形式，提出了一个创意：‘我们通过在物体之间来回运动的光束来测量引力波吧。’这是因为光束的测量可以做到。整个创意是这样的：在这里放一个物体，把另外一个物体放在那里。让这两个物体成直角设置，并且自由悬浮在真空中。然后，在它们之间发射光束，就可以回答‘引力波对光在物体间传播所需时间有什么影响’这个问题了。这是一个程式化的问题，就像俳句一样，不是吗？你绝不会认为这个问题有任何研究价值。”

雷纳的想法是让镜子悬浮在空中，并在与地面平行的方向上自由摆动，然后观察引力波出现时镜子振荡的情况。记录下镜子之间的距离变化，就可以知道时空形态的变化情况。由于光速是恒定的，利用光沿轨道传播的时间就可以测量出整个路径的长度。如果光的传播时间稍有变长，就说明镜子之间的距离增加了。如果光的传播时间稍有变短，就说明镜子间的距离缩短了。

即使再精密的钟表，也无法捕捉到光线传播时间的微小变化。雷纳想出的办法是，利用悬浮的镜子制造一台更精密的仪器——探测器。探测器由两条相互垂直的干涉臂构成，激光沿着两臂传播，而不是在一条干涉臂中来回振荡。从激光器中发射出的激光被分光镜分成两束且强度

相同，一束沿着其中一条干涉臂运动，另一束则沿着另一条干涉臂运动。两束激光在干涉臂两端的镜面上发生反射后，沿着两条干涉臂回到分光镜，经过合并干涉之后产生两种结果。如果激光在两个方向上的传播距离相同，那么两束激光汇合后的一个结果是光强会变得更强，另一个结果是光完全消失，剩下一片黑暗。如果两条干涉臂长度不同，两束激光的汇合就不完美，从一定意义上讲属于不同步。

“班上有很多学生都被这个思想实验吸引住了。

“那门课程带给我的收获是，有几名研究生决定跟随我一起研究这个项目（那个实验室真是太美妙了）。我的脑海里经常会浮现一个疯狂的情景：飘浮着的物体，在物体间来回运动的光线。这个想法看起来并不那么难以理解。”

整整一个夏天，雷纳都在考虑这个问题。后来，随着理论上取得进展，以及实验从未停止，他终于在当时还没有被拆除的“夹板宫殿”里制造出一个小型原型机。在这个不大的仪器顶端和两条1.5米长的L型臂的两端装有镜子，但是由于灵敏度不够，它根本不可能探测到时空形态的任何实质性变化。不过，这台原型机是对制造引力波探测器的想法的验证，也统一了他们的思想。随后，雷纳和他的学生提出了一些假设数据。他们希望在恒星爆炸产生的引力波到达地球时，或者在两颗沿轨道运行的黑洞引发时空振荡，最终相互碰撞合并成一个大黑洞时，可以利用他们设计的算法，对这些假设数据加以检验。为了让这个“该死的东西”发挥作用，他们必须等到晚上地铁停运之后才能干活，因为在“红线”地铁从麻省理工学院旁边隆隆驶过时，仪器中的反射镜会发生没有研究价值的摆动。而且，只要有卡车从建筑物后面经过，这些镜子就会错位。雷纳想了一个办法，他在周末封堵了瓦瑟大街。就这样，在近乎荒谬的条件下，雷纳的原型机开始发挥作用。进一步思考你会发现，这些条件也许正是他们需要的。在谈到这次壮举时，雷纳坐直了身体，头高高地扬起，紧闭的嘴角露出一丝笑意。

第二次世界大战爆发时，美国政府毫无心理准备，草草搭建“夹板宫殿”就是政府亡羊补牢的表现之一。经过一番内省，美国人十分感触，他们发现美国缺少一支训练有素的科学家和工程师队伍，这肯定会阻碍军事研究的发展。在战争压力的逼迫之下，美国开始以搭建“夹板宫殿”的速度发展科技，两者的不同点在于后者的产值可能更高一些。强烈的动机在战争还未结束时就催生了一些非常重要的技术（比如，雷达和微波

技术），到了和平时期，这些技术又被迅速应用到日常生活中。尽管在20世纪60年代，“夹板宫殿”里的这个实验室仍然依赖于美军联合勤务部门的资助，但是雷纳很肯定地告诉我，军方只对他们提出了一个附加条件或者指令性要求：资助的款项必须用于对从事有科研价值的研究的科研人员和工程师进行培训。

“不，不，这些研究不属于保密范围。军方真的是最慷慨的资助者。当时，他们被越南战争等问题弄得焦头烂额，军方认为，他们的当务之急是对科研人员进行培训（很显然，这个观点是不正确的）。他们希望提前做好准备，以免将来需要完成某个‘曼哈顿计划’或者筹建某个辐射实验室时，再次陷入捉襟见肘的境地……他们一心希望培养出优秀的科研人员，至于这些科研人员将来研究什么，他们根本不关心。”

20号楼就是一个明证。崇尚创造力、自由以及其他优秀品质的美国人，纷纷涌入这个科研“圣地”，开始了孜孜不倦的研究工作。战场上取得的胜利令美国人趾高气扬，也为“夹板宫殿”里的研究提供了动力，让这种与其说是紧张不如说是愉悦的探索研究工作持续了50个年头。战争留下的另一笔遗产是与这类研究相配套的资助体系。雷纳认为，他之所以回到麻省理工学院当老师，就是因为军方资助所具有的自由性。雷纳说：“我甚至不需要提交申请报告，而是直接去找实验室的负责人，他们就想办法为我筹集了5万美元研究经费。这可是一大笔钱啊，我用这笔钱购买了材料，建造了这台原型机。”

在“夹板宫殿”奇怪的学术氛围中，研究成果要么发表要么舍弃的压力不像外界那么大，这使得雷纳摆脱了各种烦琐的规则，以高标准完成自己的研究工作。专业期刊绝不应该刊发任何不完整的研究结果、没有成功实现的想法以及粗制滥造的实验。在学术界疯狂的论文发表潮流中，不乏投机钻营、功利主义的成分，而这正是雷纳避之唯恐不及的东西。他说：“我的短板之一是没有发表多少研究成果，有好几次我都因为这个问题陷入困境。我也不知道最终会怎么样，也许会万劫不复吧……后来，我因为这个问题也吃了很多亏。”

雷纳敢于尝试，注重实际，讲求效率，但是没有政治野心。他做实验的动机非常单纯，就是出于好奇心，对自己的职业发展规划却漠不关心。他说：“我甚至没有考虑终身教授申请年限的问题，这不是我应该考虑的事情。我是一名教授，既然他们聘任了我，我就应该尽自己最大的努力做一些有价值的事。让那些乱七八糟的东西见鬼去吧！”他的洒脱让

他能够专心做研究，敢于冒险，也让他显得特立独行。人们对产生引力波的天体现象仍然知之甚少。实验需要大量投入，但是前景渺茫进展缓慢，而且不知道是否具备原型机发挥作用所需的外部条件。因此，即使他成功地制造出这台机器，最终仍然有可能徒劳无功。

“有人告诉我，系里担心我终将一无所获。他们认为我从事的项目不切实际，建议我脚踏实地地做一些能迅速见到成果的研究。我能接受这样的建议吗？当然不能，我只想研究一些有价值的重要问题，我才不关心需要耗费多少时间呢！

“伯尼·波克是天体物理部门的负责人，后来成为我的指导老师。我并不愿意伯尼担任我的指导老师，但是有什么用呢？他坚持做我的指导老师，伯尼的处事方式就是这样。他不停地敲打我：‘你研究的这些东西没有任何意义。看吧，如果你固执己见，你将永远做不成终身教授！’（当时我连终身教授是什么，也没有搞明白。）”

雷纳不可能要求学生在探测器这个项目上花费太多时间。攻读学位需要学习和掌握大量科技知识，而这个项目的生命周期将远远超过学生们攻读学位所需要的时间，尽管雷纳没有说明两者之间到底相差多久。此外，雷纳也承认，他的同事肯定会对他的这个想法嗤之以鼻。完全符合要求的机器，还是一个遥不可及的梦想。同时，他的这个创意不仅需要灾难性的天文现象引发时空振荡，而且振荡的程度必须足够强，才能被机器捕捉到。更何况，符合这些条件的天文现象也许根本不存在。面对不绝于耳的质疑声，雷纳无言以对。

此时，雷纳面临着科研道路上一个司空见惯的抉择。要实现科研目标，雷纳需要制造无比庞大的机器。这台机器至少长几公里，比原型机大好几千倍，甚至比麻省理工学院的校园还大。这么大的规模实在令人匪夷所思，足以成为该项目被放弃的理由。另外，在成果发表方面，雷纳仍然没有任何进展。他的学生只好改换门庭，纷纷转投其他主流项目。雷纳本人也差点儿没有得到终身教职，得不到终身教职就相当于被辞退。祸不单行的是，美国军方联合勤务部门突然停止了对实验室的资助，导致那种舒适惬意的探索研究氛围一下子就不复存在了。“这一切变故的罪魁祸首是越南战争……遗憾的是，在越南战争的影响下，美国国会通过了曼斯菲尔德修正案，这让我陷入了麻烦……从此以后，美国军方的资助就停止了。事实上，科研团队与美国军方是签订了资助合同的，但是后者莫名其妙地就忽视了这个事实。这种情况非常糟糕，要知

道，越南战争让美国人深恶痛绝，停止资助是反越南战争运动的一个部分……但是，我的研究项目与军事没有任何关系。于是，我写了一份申请报告，这是我平生第一次写这样的报告。”

1973年前后，雷纳写了一份申请报告，请求美国国家科学基金会同意他使用原型机继续他的研究工作。但是，这份报告遭到了拒绝。由于得不到资助，又不能用有前景的规划将学生留在实验室里，雷纳只好改弦更张，集中精力从事另外一项宇宙学实验——测量大爆炸的余光。（说到这里，雷纳表达了对伯尼·波克的感激之情。正是因为伯尼的干预和一些有益的建议，雷纳和他的学生才能够摆脱困境，去进行一些重要的宇宙学实验。）在新的研究领域里，他卧薪尝胆，取得了不错的成绩，但他当初那个有点儿疯狂的创意似乎要被束之高阁了。

申请报告遭到拒绝，雷纳感到十分失望。大约一年之后，马克斯·普朗克科学促进协会的一位德国物理学家给雷纳打了一个电话。雷纳回忆说：“给我打电话的是亨兹·比林斯。他希望了解探测器制造工作取得了哪些进展……他们对我的这个创意十分感兴趣，希望了解后续内容。”雷纳一直躲在20号楼里研制这台探测器，除了在一次内部报告中提过，他再也没有公开他的研究工作。那份内部报告也许会在小圈子里流传，但绝不会出现在大众图书馆里。因此，他实在想不通比林斯是如何得知这台探测器的。对于这个问题，比林斯的回答是，他的消息来源于雷纳提交到美国国家科学基金会并遭到拒绝的那份申请报告。雷纳怀疑，国家科学基金会肯定广泛征求了意见，引力波研究领域中的所有相关人员可能都收到了雷纳的这份申请报告。

“当时，我们的研究进展并不顺利。但令我们意想不到的是，他们也开始了这方面的研究。我的意思是，他们非要这么做的话，我们是无法阻止的。事实上，马克斯·普朗克科学促进协会的研究团队资金充足，已经完成了早期研发阶段的大部分工作。我一直都很羡慕那些研究资金十分充裕的人。他们有资金，还有一大群经验丰富的专业研究人员……因此，他们启动了探测器研究项目（当时大概是1974年），而我的研究却陷入了举步维艰的境地。”

对于德国人取得的进展，雷纳既高兴又羡慕。他向美国国家科学基金会提出抗议，因为他的申请遭到美国的否决，而德国人却以最有意义的方式对他的申请表示支持。他的理由非常充分，美国国家科学基金会迫于压力，为他拨付了一笔足以完成原型机制造的资金。此时，由于资

金充足，精心组建的德国工程师团队“已经在探测器研制工作中，取得了喜人的成绩”。德国人的探测器有3米长，外观十分漂亮，但是与雷纳的探测器面临同样的问题：体积过小，无法探测到引力波。因此，这台探测器不具有任何实际价值，不过是探测器的微型模型。

雷纳的创意已经散播出去，变成了某种实实在在的机器，而且尺寸不断增大，技术也在不断发展。其他科研人员在了解这个创意之后，利用手头的工具，将一个个抽象的概念变成由金属和激光构成的实物。雷纳的劣势非常明显，他知道横在自己面前的是一条难以逾越的鸿沟。最终建成的全尺寸探测器应该是让人们为之疯狂的天文学仪器，也是将声频工程技术发挥到极致的录音装置。但是，他没有办法实现这个目标，只能眼睁睁地看着其他人将这个美丽的梦想变成现实。他默默地守在实验室中，在新老学生的交替中，悄悄地从事着探测器的相关研究。与此同时，他也在其他的前沿实验中取得了一些成功。雷纳的人生道路始于制造高保真音响以便能“轻松听音乐”的梦想，而现在，他躲在一个毫无竞争力、破烂不堪的实验室中，为一个走在世界前沿却被低估的项目不懈努力。

雷纳说道：“就在这时候，我结识了基普，之后我的人生发生了重大变化。”

---

[1]　埃利斯岛在1892—1943年是美国的移民检查站。截至1943年，估计有1　700万移民在该岛上接受移民局审查进入美国。——译者注

第3章
广义相对论

Natural Resources

基普·索恩是一位偶像级的天体物理学家，也是一位才华横溢、有影响力的相对论学者。他下颌上蓄着倒三角形白色胡须，在周围深色络腮胡子的反衬下，就像从栗色翻领下露出来的白色衬衫。他留着一头飘逸长发的日子早已逝去，但他在20世纪六七十年代的放荡不羁的风格始终鲜明。作为一名天体物理学家，基普的业内影响力几乎无与伦比，以至于任何关于他的溢美之词反而会令人诧异。他的具体信息，包括发型、身高、肤色等，都受到了人们的过分关注，甚至被放大到近乎扭曲的程度。

20世纪70年代末，基普已经是加州理工学院的一名颇有建树的教授了，但他仍然希望从事一些“大”项目。基普的专业是理论研究，由于知识渊博、治学严谨，因此在高度抽象的研究领域，他可以纵横捭阖、挥洒自如。但是这一次，基普希望加州理工学院开展一些具体的观察研究。基普觉得自己拥有种种有利条件，再加上满腹经纶，因此他有义务探索宇宙的奥秘。在一次美国东北部的旅行中，他一直在思考一个问题：“既然我拥有如此多的有利条件，我到底应该做些什么呢？”为了寻找灵感，他迈着轻快的步伐，在陌生的街道上漫无目的地走着。也许他并没有抬头仰望，用采矿人员评估珍贵矿藏的眼神认真地审视天空，但是宇宙中蕴藏的财富的确勾起了他的觊觎之心——他考虑可以将宇宙中的哪些财富“窃取”到地球上来。最后，他断定，他应该带领加州理工学院走上引力波探测这条道路上来（这更有可能是灵光乍现的想法）。

基普·索恩一家搬到犹他州的时候，那里还没有修建铁路。索恩家族

的上几代人都是传统的摩门教徒，他的父母受过教育、提倡男女平等，这在当时的社会环境中是一种离经叛道的行为。基普的父亲怀恩·索恩是一名土壤化学家，在犹他大学任教。由于当时的法律禁止任人唯亲，基普的母亲艾莉森·科尼什·索恩无法与她的丈夫在同一所学校任教，尽管她拥有经济学博士学位。她在学校里开展了一个妇女研究项目，但不担任任何正式职务。在基普的父亲去世多年后，他的母亲把全家人召集在一起，宣布集体脱离教会，以抗议教会歧视女性的行为。（当指明全家人包括母亲、三个女儿和两个儿子时，基普俏皮地说道："我们是一个信奉摩门教的小家庭。"）教会倾向于将女性排除在外，但是不愿意放弃男性教徒。基普笑着说道："我们费了好大力气才说服教会同意我们一家人的退会要求。"基普的母亲去世后，当地报纸在头版头条为她刊登了讣告："激进的老太太去世"。时至今日，基普对母亲的敬意依然丝毫不减，我想他的自由精神（我想不出有哪个词语可以更准确地描述基普）可能就是源自他的家庭。

基普从小的志向是开铲雪车，但是8岁那年，母亲带着他参加了一个天文学讲座，他的职业规划从此发生了变化。基普与天文学的初次接触具有很强的偶然性，实际上，从小在犹他州长大的他数学成绩非常好，成为一名天体物理学家似乎是注定的事。在遇到名师约翰·阿奇博尔德·惠勒之前，他早已放弃了当铲雪车司机这个儿时梦想了。

1952年，惠勒在普林斯顿大学首次开设了相对论方面的课程，比基普到普林斯顿就读的时间大约早10年。惠勒开设这门课程的目的是以教促学、教学相长，这是物理学教授们经常采取的一种策略。从此以后，惠勒把他的余生全部奉献给了广义相对论研究。他一生指导了46名物理学博士（其中最有名的毫无疑问是理查德·费曼）。惠勒不仅为美国培养了包括基普在内的第一批重要的相对论学者，还为随后一批批相对论学者的培养创造了有利条件，他因此被奉为"美国相对论之父"。我至今仍记得惠勒参加普林斯顿午餐会（出席午餐会的来宾要向在座的人介绍自己的研究）的情景。当时，惠勒已经80多岁了，他坐在那儿，就像王室成员一样引人注目。由于听力已经衰退，他必须借助一只喇叭状助听器与人交流。（不过，我不确定那个喇叭状助听器是不是我臆想出来的。）

在研究相对论之前，惠勒参与了核武器项目的研究。从1942年至第二次世界大战结束，他一直在从事钚反应堆的设计与使用等工作。这些

钚装置功能强大，预计可以产生2.5亿瓦的能量。如果用于照明，即使不足以让两个时代广场灯火通明，也相差不远。这些原始电能被封存在一个装置之中，由战斗机携带至目标上空后投掷到地面，其爆炸后释放的能量相当于2万吨TNT炸药爆炸产生的能量。钚原子弹在美国的沙漠被成功引爆后，尤里乌斯·罗伯特·奥本海默引用《博伽梵歌》中的语句，发出了“现在，我化身为死神，变成了无尽世界的摧毁者”的感慨。这一幕给世人留下了深刻的印象。不到一个月的时间，铀裂变成名叫“小男孩”的核弹在广岛上空爆炸，三天后，钚裂变成名叫“胖子”的核弹在长崎上空爆炸。

在意识到自己肩负的公民义务之后，惠勒毅然面对使命召唤，将个人牺牲与家庭压力抛到脑后、投笔从戎，参加到这场战争中。在此之前，他经常坐在普林斯顿大学数学系大楼的茶歇室里，一边享受可以与英国大学相媲美的优雅氛围，一边通过收音机了解战争的进程。尽管他与一些流亡学者是好朋友，与艾尔伯特·爱因斯坦的关系也非常亲密，但是他认为关于德国人暴行的传闻根本不可信，都是谣言。惠勒是德国物理学会的会员，他可以接触到德国人的宣传材料。据惠勒描述，他的同事们看到他若无其事地阅读那些宣传材料时都感到焦虑不安。惠勒在回忆录中写道，因为同情德国和相信德国的统治有助于维持欧洲稳定，他遭到了父母的训斥，直到后来随着战争的推进，他对德国的同情心才消失。随着越来越多的新闻报道德国人的暴行，惠勒终于充分认识到自己的错误。他在回忆录中坦承自己的判断是错误的，还谈到了他的父母对这件事的看法。惠勒写道：“50多年过去了，现在几乎记不清我当时是怎么想的了……尽管我不遗余力地为打败德国纳粹贡献自己的力量，但是我始终坚信，无论是哪个国家的人，其本质都是好的……战争接近尾声时，我有了更深入的了解，但是直到我于1947年参观了奥斯维辛集中营，我才真正地了解到德国法西斯有多么残暴。”

1941年12月8日，即珍珠港遭到袭击的次日，美国对日本宣战。美国各地的物理学家纷纷放下手上的学术工作，奔赴麻省理工学院的“夹板宫殿”，以及位于新墨西哥州洛斯阿拉莫斯市和田纳西州橡树岭市的核研究机构，寻找报效国家的机会。惠勒也决心做出自己的贡献。从1942年年初开始，惠勒先后在伊利诺伊州的芝加哥和特拉华州，为这场战争尽自己的一分力。1944年，为了帮助美国击败德国，他来到华盛顿州汉福德的巨型钚反应堆旁，开始了原子弹的研发工作。几周之后，反应堆启动了。此时，被部署到欧洲战争的他的弟弟乔伊在行动中失踪的消息传

到了惠勒耳中，这让惠勒研发核武器的念头变得更加坚定了。惠勒写道：“直到1946年4月，人们才在乔伊阵亡的小山上找到他的遗体，以及乔伊的一名战友的遗体。由于经过了18个月的时间，他们的遗体已经变成了一堆白骨。”在原子弹的使用遭到质疑时，惠勒的回答与他在回忆录中的说法一致：“如果原子弹计划早一年启动、早一年完成，就会有1 500万人幸免于难，我的弟弟乔伊也不会惨遭不幸。这是任何人都无法否认的事实。”

由于“冷战”愈演愈烈，为了确保国家安全，美国开始研发氢弹。1950年，惠勒参与了这项工作。亲朋好友和同事不认可他的理由，对他提出了批评。惠勒感到十分痛苦，但是他义无反顾。刚开始的时候，奥本海默也认为氢弹有可能成为一种不受控制的武器，因此反对氢弹研发计划。（后来，奥本海默的立场发生了改变，支持实施这个项目。）尽管惠勒没有在1954年奥本海默安全调查听证会上做证（此次听证会剥夺了奥本海默参与秘密项目的资格。爱德华·泰勒因为在听证会上提供了不利于奥本海默的证词而声名狼藉），但是对于听证会的证词及判决结果，惠勒并非完全不认同。我之所以使用这个拗口的双重否定句式，是因为我无法更准确地描述惠勒当时的心理。不过，基普非常清楚惠勒到底是怎么想的。基普告诉我，根据他与惠勒的交谈，他可以直截了当地说：对于听证会的结果，惠勒是赞同的。

在感觉到使命召唤的迫切性减弱之后，惠勒调整了自己的研究方向，把注意力重新放到纯科学研究上面。他参与核动力研究的经历对他的研究兴趣产生了积极的影响。历经艰辛才掌握的核物理知识，最终演变成伤人性命的可怕利器。这些冷冰冰的物理规则不受道德的影响，在远离地球的地方同样适用，还可以完美地解答那些庄严神圣的问题，例如“太阳为什么可以发出耀眼的光芒？”，对原子弹“小男孩”与“胖子”研发过程中用到的知识稍加改造，就可以回答这类问题了。活恒星通过热核反应燃烧氢元素，让自己悬浮在宇宙中，持续不断地发出明亮的光。太阳每秒钟要燃烧成千上万吨氢燃料，就相当于一个不断爆炸的氢弹。燃烧产生的热能可以长时间地让太阳保持膨胀、高压的状态，抵抗引力坍缩的作用。几十亿年之后，由于太阳上的氢元素逐渐稀少，核聚变无法产生足够的能量，这个“大火炉”就会冷却下来，向外的辐射压再也无法维系太阳表面的大气层了。在自身引力的作用下，太阳开始坍缩。接下来，会发生什么情况呢？惠勒认为，引力坍缩的最终状态是他那个时代亟待解决的最重要的物理问题。

恒星坍缩问题激发了惠勒对引力的研究兴趣。研究死星的坍缩及其最终状态，不仅需要核物理知识，还要对引力有所了解。更何况，引力早已变成以数学语言描述弯曲时空的广义相对论的同义词。对于垂死恒星而言，引力想要压碎它，而核聚变反应产生的向外辐射力则想要抵抗向内的引力。在这场对抗中，谁会获胜呢？

1939年，尤里乌斯·罗伯特·奥本海默与学生哈特兰·斯奈德共同发表了一篇开创性的论文。他们认为，在理想状态下，庞大、致密的死星会自行坍缩，最终消失得无影无踪。由于当时正处于第二次世界大战期间，死亡的巨大阴影笼罩在人们心头，因此他们的研究成果并没有立即引起注意，他们自己也把研究的触角伸向了其他领域。20世纪50年代末，约翰·惠勒注意到了奥本海默的这项研究。他提出了一些批评意见，结果引起某些人的不满。惠勒认为，奥本海默的结论过于简单，而且脱离现实，因此并不可信。惠勒推测死星不会不受限制地坍缩，奥本海默给出的最终状态也站不住脚。随后，他带领他的普林斯顿团队，借助战后科学界对核裂变、核聚变的深刻了解，以及某些新型计算机，对这个问题进行了深入研究。最终，他们提出的那些质疑都得到了完美的解答，还为那些垂死恒星签发了“病危通知书”。

几十年的研究结果表明，恒星的最终死亡状态有三种。第一种状态是，与太阳相似的恒星将变成白矮星（white dwarf），也就是由简并物质（degenerate matter）构成的温度较低的星体。它的大小与地球差不多，高密度的电子所产生的向外辐射压力足以帮助它摆脱彻底坍缩的命运。第二种状态发生在一些质量更大的恒星身上。这些死星最终将变成稳定的中子星，中子星是由简并物质构成的密度更大的星体，直径约为20～30千米。由于致密的中子可以产生巨大的向外辐射压，因此中子星也可以摆脱彻底坍缩的命运。第三种状态发生在那些质量最大的恒星身上。由于无法产生向外辐射压，这些星体必然会不受限制地坍缩。

1963年，惠勒大步走上讲台，做了一个关于持续性引力坍缩的报告。这个报告对25年前奥本海默与斯奈德的断言给予了肯定，但值得注意的是，奥本海默并没有出现在听众席中，而是和他的朋友一起坐在礼堂外面的长凳上聊天。原因究竟是惠勒的批评让他一直耿耿于怀，还是他无意与惠勒和解，又或者是他不愿参加惠勒的庆功会，人们不得而知。此时，“世界摧毁者”奥本海默的研究兴趣已经发生了变化。他不再关注理论物理的研究，尽管他在这一领域做出了极富想象力也十分重要

的贡献。1967年，奥本海默去世。不久后，惠勒在一次做报告时遇到了一个问题。由于需要描述死星的最终状态，他不得不反复提到“完全坍缩的引力”这个表述。这让他不胜其烦，准备找到另一种表述。结果，听众席里有人喊道：“用‘黑洞’这个词怎么样？”

（关于这个逸闻，雷纳评论道：“真正的过程远比这个复杂，不过我们姑且不谈它。”）

恒星在坍缩时，要克服电子遭到挤压后产生的排斥力，还要克服中子的排斥力。在构成恒星的物质受到足够大的压力的情况下，坍缩星体周围的时空曲率变得无限大，就连光线也会被吸进去。随着坍缩的持续，光最终也无法从恒星表面逃逸，就好像恒星物质遭到挤压后，其背后的弯曲时空正在高速旋转，而且旋转速度比光线向外传播的速度还要快。让周围物质有来无回的黑洞的边界，即事件视界（event horizon），正好内接于弯曲时空中。事件视界投下一个漆黑无光的暗影，黑洞就这样形成了。黑洞不再是星体，甚至不是一个实实在在的物体。恒星物质被黑洞吞噬之后，就会形成暗影状的事件视界。

在惠勒的邀请之下，基普·索恩加入了黑洞与量子力学的研究行列，成为研究相对论的第一代物理学家。基普生逢其时，在他那个年代，一些重要的天体物理学问题悬而未决，等待人们利用相对论去揭开它们的神秘面纱。此外，基普才华横溢，足以让他在这个领域大展拳脚。

基普上学期间成绩优秀，得过奖学金，与人合作时从不耍诡计。第二次世界大战爆发时，基普还非常年轻，是一名新式的和平主义者。我最初把基普简单地定义为和平主义者，结果他更正了我的说法：“我远谈不上是和平主义者。我经历了第二次世界大战以及战后的恐怖岁月，因此，我不可能是一名和平主义者。”但是，他的政治态度与他的导师有所不同。在基普看来，导致“冷战”军备竞赛的因素是狂妄与无知。参与升级热核武器计划的颇具争议性的行为，毫无疑问是惠勒的学术背景的组成部分。氢弹可能是一件威力无比的武器和大屠杀的利器。基普在想到这种超级炸弹时，脑海里会不由得蹦出一个词——令人发指。基普自己感兴趣的是纯粹的天体物理学，它的研究意图非常简单，追求的是纯粹的知识，而且这些知识不属于私人所有，而是全人类共有。超级炸弹违背道义，但是超级炸弹背后的核物理学知识本身却不涉及道德品质问题。基普对核物理学的兴趣不具有伤害性，但是那些通过安全审查的朋友们对他所提出的技术问题根本不屑一顾。基普关注的是恒星演化进程

中的核反应，而对制造炸弹不感兴趣。但是，惠勒认为，两者所需要的物理学知识没有任何不同。

惠勒深受世人的爱戴，作为一名导师，他也受到了基普的爱戴。惠勒的吸引力在于他的卓越才华以及慷慨无私的学术指导，而不是他的政治立场，因此政治分歧早被基普抛到脑后了。我们从惠勒（与他人合著）的自传中摘引一段文字，来看看惠勒身上到底有什么魔力。“现在，我已步入耄耋之年，但是我没有停止探索的步伐。我知道，对科学的追求不同于对真知的追求，前者比后者的要求更高。它的驱动力来自一种创造性渴望——描绘一幅世界远景规划图，让这个世界变得更加美丽、和谐。”

对于基普及他那个时代的人而言，稀奇古怪的抽象数学已经变成了可以征服的实实在在的天体物理学问题。黑洞死气沉沉、一团漆黑，但令人意想不到的是，它们还可以扰动周围的时空，成为广袤宇宙中最耀眼的灯塔。尽管在20世纪六十七年代，关于黑洞存在的所有证据依然极具争议，但基普却发现这是一个天赐良机：他可以深入研究这些激动人心的黑洞，了解它们吞噬恒星、产生引力波的理论细节。这些实实在在的研究内容还催生了思想实验。基普想，会不会存在某种高级文明，它们只受物理规则的限制，而不受他提出的虫洞、时间旅行等理论的限制呢？期刊的数学证明通常会涉及人类的文化生活，变成一种可以通过计算加以验证的科学幻想。基普对相对论天体物理学的贡献具有奠基性意义。用他的话来说，20世纪六七十年代是天体物理学的黄金时代。1970年，30岁的基普成为加州理工学院的全职教授，因为翔实缜密、富有独创性的理论成果而享有盛誉，受到广泛尊重。

他的导师以及那个时代的人都受到了召唤，去完成重要的使命。最终，在一场波及全世界的战争落下帷幕时，有的人死了，有的人则存活下来。科学上的博弈尽管更加抽象，但从表面上看前景同样光明。冥冥之中似乎有某个声音，呼唤基普把他的毕生精力投入到比职业发展更有价值的事业之中。这个声音告诉他，他有可能成为一名倡导者、劝诫者、捍卫者（或者一名非宗教意味的“传道者”），引导人们用一种新的方法与宇宙进行交流；他有可能为地球找到一种新的自然资源，供人们使用，给人们鼓舞，从而做出超越任何人（包括他自己）的贡献。天文学家利用手中的望远镜接收来自天空的不同波段的光，而基普则另辟蹊径，通过探测引力波发出的声音，对宇宙进行深入研究。就像托马斯·品

钦在他那部经常被引用的著作中所说的，基普发现引力奏响的乐曲为他研究宇宙奥秘打开了一扇大门。

在我看来，与其说基普谨小慎微，不如说他细致缜密。在计算时，他总是从容不迫、不慌不忙，有时速度甚至慢到令人难以想象的程度。但是，一丝不苟并不意味着犹豫不决。在研究中，基普经常会做出大胆自信的推测。基普也许想过，引力波可能是他所有研究中最令人激动的一个项目；他也许还想过，引力波稍纵即逝，关于它的研究肯定会极具争议性。引力波抽象难懂，有很多含糊不清的方面。如果观察的角度发生变化，引力波就会在时空相对性的作用下消逝得无影无踪。引力波是真实存在的东西，还是人们在时空测绘中操作不当所造成的错觉呢？

爱因斯坦本人也不确定引力波是否存在。1916年，爱因斯坦先是认为引力波不存在，之后他又认为引力波存在。1936年，他再次宣称引力波是存在的。不过在这两个时间节点之间，他的观点几度摇摆。在一次关于引力波的报告中，爱因斯坦说道："如果你问我引力波到底存不存在，我只能说我也不知道。但是，这是一个非常有意思的问题。"

截至20世纪70年代，人们的疑虑仍然没有彻底打消。不过，历时多年的研究已经为引力波的存在提供了可靠的理论依据。也许仍然有人持怀疑态度，但是基普坚信引力波确实存在。1962年，基普开始在约翰·惠勒的指导下攻读博士学位。在那时的基普看来，引力波的存在是一个毫无疑问的事实，尽管争议声在20年后才逐渐消失。1972年，在对他指导的博士研究生，后来取得丰硕成果的比尔·普莱斯进行年度考评时，基普对引力波这个研究领域进行了展望。这也是基普对自己未来职业生涯的一次展望，向世人展示了他在深夜散步时为加州理工学院选择的发展方向。

从概念上看，引力波是速度限制的必然产物。当两个黑洞相互绕转做轨道运动时，黑洞周围的时空扭曲加剧。由于（黑洞运动的）信息不能以超光速传播，因此时空形态无法即时适应这种变化，而是逐渐做出变化、调整。这些变化会以逐渐增强的波的形式，借助剧烈天体运动所产生的能量，以光速向外传播。

这项研究有望带来丰厚的回报。基普反复强调，这些"新任宇宙信使"将为我们打开"一扇观测宇宙的新窗口"。但是，关于这些重大的天体物理现象以及它们传递给引力波的能量，人们所了解的具体信息依然非

常少。万有引力是最弱的已知作用力，两个电子之间的电磁力是它们之间引力的无数倍。我们可以高高跳起，说明单凭肌肉力量就可以轻松地克服地球引力。只有致密程度超乎想象的质量和能量发生最剧烈的动态变化所产生的引力波，才可以被最灵敏的仪器捕捉到。

尽管路途坎坷，但是这个时代呈现出的繁荣景象足以鼓励人们勇往直前。身处相对论研究的黄金时代，人们梦想宇宙中有无数奥秘等待发掘。我们所在的这个宇宙向我们展现了精彩纷呈的视觉图景，或许也会给我们提供美轮美奂的听觉享受。伽利略利用天文望远镜观察太阳和行星。在看到月球表面的山脉之后，他断定月球这个天体并不是一个神圣天国。在看到木星的卫星和行星环之后，他确定地球并不是宇宙的中心。在随后的几百年里，太阳系乃至银河系外的天体一个一个地进入了我们的视野。这么多的意外惊喜或许预示着引力波探测器也会获得丰硕的回报。如果能记录来自太空的声音，那些无法预测的未知现象就有可能会纤毫毕现地展示在我们眼前。当基普与雷纳携起手时，这个美妙前景让他们意气风发。

1975年，雷纳和基普一起出席了美国国家航空航天局（NASA）在华盛顿哥伦比亚特区举行的一次会议。当时，基普正准备向加州理工学院提交成立引力实验研究项目组的申请，他出席这次会议的目的是为撰写申请报告搜集相关资料。雷纳回忆说："我在华盛顿机场等着接基普，而在此之前我没见过他。第一眼看到他时，我不禁'啊'了一声。他留着稀疏的长发，打着领结，手腕上戴着腕带。我觉得他是一个稀奇古怪的家伙，也许在他眼中，我也非常古怪吧。

"后来，我发现我们是普林斯顿大学的同级校友。我还发现他是一个讨人喜欢的家伙，虽然他看上去疯疯癫癫的。很快，我就跟他熟络了。"

谈到他们随后参加的那次会议时，雷纳说："我们通宵畅谈，一夜未眠。当时，基普一直在思考：'如果想通过实验研究万有引力，加州理工学院需要完成哪些工作呢？'"

基普也几次回忆起他与雷纳的通宵交谈："从20世纪70年代到20世纪80年代，再到20世纪90年代，我们经常秉烛夜谈。"说到这里，基普笑了起来，也许是想起了某些细节。"但是，到底是哪一天聊了个通宵，我完全不记得了。我的记忆力太差了。"

“那是因为你经常熬通宵。”我补充了一句。

我们的交谈是对基普记忆力的一次考验。最后，他通过查找他精心建立的文件档案，才确定了他们俩彻夜交谈的具体日期。当时，基普打算把引力波实验作为项目申请的主要内容，但后来引力波变成了核心内容，造成这个变化的原因可能就是他与雷纳的交谈。

雷纳回忆说：“我们在一张纸上画了一幅很大的图，呈现出引力研究的所有方面。未来的方向在哪里？或者说，我们会有什么样的未来，要做哪些事情？我没有劝说基普，他是主动来找我的。基普认为，他们在加州理工学院的研究就应该是利用那套设备完成引力波探测工作。这项研究似乎前途光明，我们因此展开了热烈讨论。有一个问题让基普坐立不安，他不停地说：‘哎呀，我一个人可办不到，我该找谁帮忙呢？’”

接着，雷纳说道：“基普已经想好怎么办了，他打算雇用弗拉基米尔·布拉金斯基。这个苏联人很优秀，与基普的关系也非常好。你是否知道，基普在莫斯科待过一段时间。”

基普提醒我，布拉金斯基是由正式成立的遴选委员会按照正式的程序确定的人选，委员会成员有学校领导、教授以及学术团体的负责人。在任何情况下，经过慎重考虑之后确定的实验项目负责人候选名单中都会有弗拉基米尔·布拉金斯基的名字。听了这番话，我对布拉金斯基的印象有所改变。

在海底等极端条件下，由于压力、温度都极不利于生存，就连代谢海底热泉释放出来氢单元素也几乎是一个不可能完成的任务，但某些生物却生活在那里，甚至离不开这些恶劣条件。那个时期的苏联科研人员并不是这类“嗜极生物”，因为“嗜”这个字含有他们对所处环境甘之如饴的意思。这些科研人员身处清苦的学术环境中，一方面要承受难以想象的压力，一方面只能靠最简单的“营养”来维系学术生命，但他们却顽强地坚持下来，而且取得了丰硕的成果。苏联的天体物理学研究中心虽然处境堪忧，但他们传奇的成就受到了包括基普在内的西方学术界的推崇。基普去过几次莫斯科，“克格勃”的监视并没有让他感到特别害怕。审查可能令布拉金斯基深感烦恼，但是他没有表现出来，而是耐心地履行所有必需的手续。在合作创造的价值以及友谊带来的愉悦感面前，审查的烦恼烟消云散。他们的行程有好几次都超出了莫斯科内环的范围，按照“克格勃”的要求，布拉金斯基需要事先把基普的行程报告给有关部

门，以便后者核实他们的实际行程。布拉金斯基私下里向基普坦承，每次基普来找他，他都要接受“克格勃”的盘问。基普每次去到苏联都会受到严密监视，布拉金斯基去往美国也会受到监视。

苏联和美国都很关注他们的一举一动。基普认为，在20世纪60年代末70年代初，他的电话肯定受到了美国政府的监听。有一段时间，洛杉矶联邦调查局的贝文思先生四五次敲开基普办公室的门，询问关于弗拉基米尔·布拉金斯基的详细信息。这类荒谬的监视令基普不胜烦恼，他打开办公室的门，对贝文思说道：“布拉金斯基就在这里，你亲口问他吧。”接着，基普礼貌性地把这名张口结舌的特工介绍给布拉金斯基。两名访客都惊愕不已，一阵沉默之后贝文思说道：“我和你们一样，也是有血有肉的人。”他一边说，一边拉起裤腿给他们看，仿佛这能说明什么问题似的。

布拉金斯基已经说服基普相信引力波探测肯定会取得成功，基普希望能亲自参与这项工作，而不只是担任苏联科学家的顾问。雷纳解释说：“问题来了。基普知道布拉金斯基从苏联出境是一件非常困难的事，因为‘冷战’还没有结束。我不知道布拉金斯基为什么可以出国。但是，从他可以出国这件事来看，我认为他与‘克格勃’有关系。当然，这只是我的推测，不过似乎有一定道理。”

基普向我保证布拉金斯基与“克格勃”没有任何关系。据他介绍，布拉金斯基是一名苏联共产党员，苏联政府给布拉金斯基发放旅行许可证是出于国家荣誉的考虑，让他展示苏联在科研上取得的成就。基普说：“但是，他也有好几次被拒签，临登机时签证被没收的事情发生过不止一次。”

在基普看来，布拉金斯基应该是他招揽到加州理工学院合作开展科研工作的不二人选，布拉金斯基也有意在加利福尼亚明媚的阳光下无忧无虑地生活。尽管布拉金斯基最终没有离开苏联，但是他的学术影响力却大大地超出了国界。至今，一些先进的探测器仍然受益于布拉金斯基研究团队的成果。

雷纳回忆起1975年他与基普见面之后的几个月的事情。他对我说：“基普问我是否有兴趣。我回答说：‘我想提醒你的是我的履历十分糟糕。我没有公开发表过研究成果，遴选委员会是不会看中我的。’

“接下来发生的事情真是太棒了。基普没有放弃，他继续鼓励我提交申请。于是，我写了一份申请，把简历也一并寄过去。基普给我回了封信问：‘你的简历是不是不完整啊？’我认为这件事没戏了，就不再想了。”

基普不同意雷纳的说法，他说：“在讨论时，我们并没有觉得邀请雷纳来加州理工学院是一件多么困难的事。我深信学校的教授们以及管理部门毫无疑问都会同意。”（1977年12月，雷纳·韦斯的姓名出现在候选人名单上，并且排在第二位。）



但是，早在1975年NASA在哥伦比亚特区召开会议的头天晚上，雷纳提出了另外一个人选。雷纳说：“他叫罗纳德·德雷弗。我之前不认识他，也没见过他，但是我发现这个人的头脑非常聪明。因此，我建议邀请他加入。”后来，罗纳德·德雷弗的名字也出现在加州理工学院的候选人名单上。

第4章
引力波探测先驱

Culture Shock

罗纳德·德雷弗的思想从小就被打上了节俭的烙印。罗纳德出生于苏格兰一个中等规模的村庄。他的父亲乔治·道格拉斯·德雷弗的童年是在格拉斯哥附近的一个工业城镇度过的，尽管他长大后成了一名医生，但是他的收入显然不高。罗纳德的母亲玛丽·弗朗西斯·马修斯出生于英格兰诺森伯兰郡——一个靠近苏格兰边境线的偏远地区。小时候，玛丽和她的家人生活在“一座面积较大但布局零乱的陈旧农舍”中，因为继承了一笔巨额遗产，所以全家人都无须工作。然而，即使按照当时的经济水平来看，德雷弗一家的生活也是比较清贫的。罗纳德承认，他们家可以维持生计，但绝谈不上富裕。在罗纳德一生的大部分时光里，他都过着节俭的生活。当然，节俭并不意味着他与幸福无缘。

罗纳德父母购置的第一套房产，位于苏格兰伦弗鲁郡比什普顿的主干道上。罗纳德的弟弟约翰告诉我，当时大约有700人生活在比什普顿，那幢房子耗资200英镑，是他父母的全部家当。约翰怀疑这笔钱可能全部来自他母亲的嫁妆。住到那里之后，罗纳德的母亲迫不及待地种起了蔬菜和水果，但她饲养马匹、奶牛的技术却无用武之地。罗纳德的父亲在门前挂了一块牌子，上面写着“德雷弗诊所”的字样。由于乡村医生还要兼任药剂师，因此他们专门辟出一间诊疗室和一间药房，作为父亲忙碌的工作场所。这幢房子里只有一间浴室，前来就诊的病人偶尔会看到罗纳德，或者约翰，又或者是他们俩，在浴室里洗澡。他们家没有汽车，玛丽也不会开车。尽管苏格兰的天气不利于骑车出行，但她只要出门，总会选择骑自行车。乔治也是一样，他经常会骑着自行车，沿着崎岖不平的道路去病人家中出诊。

他们接诊的病人不少，但收入却不是很多。由于当地的经济非常落后，再加上时局动荡，当地居民都深受区域性失业的困扰。尽管这些问题导致当地居民的身体健康状况普遍不佳，前往德雷弗诊所就诊的人也非常多，但是他们没有钱，罗纳德的父亲通常也不会向他们收费。病人需要看病时，可以当面预约，偶尔也有人通过书信预约，后来还有人通过电话预约。伍德罗夫人负责管理火车站附近邮局旁边的电话交换机，由她来提供病人的位置，或者将病人的电话转接到比什普顿57号德雷弗医生家。不知是由于有意的安排还是自然形成的结果，村子里的一位老医生（罗纳德兄弟称之为“老弗兹勒”）逐渐把他的业务转交给了德雷弗医生。从此以后，德雷弗医生承担起比什普顿的所有公职，包括地方政府卫生官、法医、保险核赔师、工厂及邮局专属医师等。

罗纳德出生于1931年10月6日。由于他的母亲生他时遭遇难产，而且情况越来越危险，他的父亲从最近的佩斯利市请来一名助产士，还从附近的一个城镇请来了一名医生。他的父亲担任麻醉师，利用碎布和瓶子进行氯仿麻醉。在使用了可怕的钳状骨针（现代医学已经弃用）之后，罗纳德终于来到了这个世界。他的弟弟约翰怀疑，罗纳德之所以很难相处，那些钳状骨针可能难辞其咎。（在他们的父亲后来使用的接生包中，仍然装有这些具有象征意义的医疗设备。）罗纳德喜欢“吹毛求疵”，甚至有些偏执，凡事都要求井然有序、干净利落。约翰为了表述准确，特地使用了“pernciketie”这个古老的苏格兰词语，以此形容罗纳德挑剔的性格特点。不过，罗纳德也深受家人的喜爱。罗纳德希望得到关注，家人在关爱他的同时，还让他成为全家人的焦点。

罗纳德的母亲认为，罗纳德挑剔的性格特点是一位名叫薇拉的保姆造成的。但是，约翰并不赞同这个观点。他认为薇拉非常风趣：“根源不在于我的父母、薇拉或者其他任何人，而是罗纳德的天性使然。”直到约翰离开家并成为一名医生之后，他才有机会认真思考他的哥哥是如何成为全家人的焦点的：“我从来没有注意到罗纳德是如何让全家人焦虑不安的。直到我上学之后，我才发现这个问题，我们的世界是以他为中心的。”

在回忆童年生活时，约翰想起了那些令他们的生活变得五彩斑斓的亲密细节：“幸运的是，在儿时好友……的帮助下，父亲贷了一笔款，买了一辆莫里斯汽车。那时候，家里有辆车可是一件了不起的事。但是，有一个问题：购买的汽车没有车门，上车的时候只能从一侧爬进去。母

亲觉得这种上车方式难以接受，因为她出门的时候通常都会打扮得漂漂亮亮的……我已经不记得那辆莫里斯汽车的样子，但我听说很多关于它的故事。有一次，他们驾车刚驶过邓巴顿的一个弯道，就看到有个轮胎从车的旁边滚了过去。他们以为这是别人的轮胎，还因此哈哈大笑起来。然而，他们的车却在一阵剧烈的颠簸之后熄火了。原来那个轮胎是他们的。他们经常不考虑路程远近和路况好坏，就载着亲朋好友到处去：到特罗萨克斯山野餐，在郊外的小路上兜风，或者去克莱德海岸游玩。”

罗纳德的叔叔瑞克·里奇安·德雷弗是一名艺术家。但是，在经济萧条时期的苏格兰，艺术是没有市场的，因此瑞克进了一家造船厂做助理工作。（约翰告诉我，里奇安家族与德雷弗家族联姻时，两家人都是奥克尼群岛的农民。北欧海盗入侵奥克尼群岛后，为当地居民取了一些侮辱性的姓名。约翰说，“里奇安”的意思是“渣滓”，“德雷弗”的意思是“垃圾”。）瑞克在罗纳德家生活过一段时间，他一面给报纸投稿，一面报名参加商业美术的函授课程。罗纳德的实践能力的培养要完全归功于叔叔的帮助。在叔叔的指导下，罗纳德对各种发动机进行了深入研究，学会使用各种稀奇古怪的工具，还培养了对精细雕刻的浓厚兴趣。

罗纳德经常帮助父亲的病人修理钟表和收音机，因此得到的回报——金属碎片和木头块很快就变成了罗纳德的玩具。学校里的读写课让他吃尽了苦头，但是在科学课上他却如鱼得水。在格拉斯哥中学上学期间，他所在的班级利用“边角料”制造了一台电视机，罗纳德的小组负责声音装置。后来，他在自己家的车库里独自制造了一台电视机。1953年，家里的亲朋好友就守在这台几英寸[1]的蓝屏电视机前，观看了女王的加冕典礼。当时，这可能是村庄里唯一的一台电视机。约翰回忆说：“罗纳德制造的一个用无线电控制的小玩意儿……让一只猫困惑不已。它追着这个小玩意儿跑，不停地用鼻子嗅它。”罗纳德曾经将一个小电机装在罐头盒中，作为发条留声机的唱针驱动装置。至今，约翰还保留着那个小电机。

第二次世界大战爆发后，他们居住的那个普普通通的小村庄也被卷入其中。第一次世界大战时的经历给罗纳德的父亲留下了心理阴影，他认为全家必须待在一起，不能分开。附近的沼泽地里建有一家大型兵工厂，成为德军轰炸的目标。很多炸弹掉落在泥泞中，没有爆炸。后来，英国军队收走了这些炸弹，远送到其他地点引爆。战争在人们的头顶上

进行着，有时候德雷弗家的两个男孩在院子里就能捡到弹片和弹壳。

比罗纳德小三岁的约翰说道："我负责看好罗纳德。不知不觉中，照看罗纳德就变成了我的责任，我也习惯了整天跟他待在一起。"在说这些话的时候，约翰毫无抱怨之意："我们的关系一直非常亲密。我不可能生罗纳德的气，因为他什么都不懂。"后来，兄弟俩一起乘坐公共汽车去格拉斯哥大学上学。之前，他们也是一起去格拉斯哥中学上学的。"父母对罗纳德从来没有停止过操心。"罗纳德拿到学士学位之后，剑桥大学向他伸出了橄榄枝。但是，由于"担心罗纳德无法照顾好自己"，父母建议他拒绝这个研究员的职位，罗纳德也接受了。看到我吃惊的表情，约翰说道："不管怎么样，在罗纳德的心目中，格拉斯哥永远是世界上最好的地方。"

罗纳德喜欢从大学实验室和家中收集那些废弃的材料，包括橡皮管、封蜡以及实验废料，然后用他的一双妙手把它们制成一些物件。令人难忘的是，他有一次使用的材料全部来自他母亲的园子。罗纳德崇尚节俭，在刚开始创立自己的事业时，尽管预算紧张，但他总能高效地实现自己的目标，这让他备感自豪。

在格拉斯哥大学工作期间，他灵光一现，决定利用地磁这个天然的核磁共振探针，从事核试验。罗纳德解释说："这是一个非常奇怪的想法，确实异乎寻常。"他从自己家的车库里找来一堆汽车蓄电池，又从学校的实验室借来了一些设备，然后就在他母亲打理得井井有条的园子里干起来。他躲在自家屋后的园子里，利用一台旧照相机（即使在他做实验的那个时代，这台照相机也堪称古董）和"一台古老的仪器"，对溶液中的锂原子核进行测量，每半个小时一次。罗纳德完全沉浸在苏格兰乡村的静谧氛围中，一干就是24个小时。他其实是在检验马赫原理。概略地讲，马赫原理认为，宇宙深处的物质可以影响地球上的某些基本特性，例如惯性质量。马赫原理中的一个变量表明，银河系中物质的分布状态（在平面上呈中心致密的螺旋形），会对溶液中锂原子核的惯性质量产生影响。这个变量引起了罗纳德的兴趣。他想，由于地球一天24个小时不停转动，他母亲的园子也会相对于银河系的中心点（银河系中最致密的区域）不停地旋转。于是，他开始测量锂原子核的属性是否会随着银河系物质分布状态的变化而变化。显然，这样的影响是不存在的，得到这样的结果也没有任何问题。整个实验的设计非常简单，有待进一步完善，但是他能做到这些，已经相当不错了。

这时候，有一个团队在磁体实验室里完成了类似的实验，并公开发表了实验结果。得知这个消息后，罗纳德想："我也可以完成这个实验，而且我用的这些设备都是免费的。"一个设施先进的实验室必然具有竞争优势，但是罗纳德不仅没有泄气，反而斗志昂扬。他不需要昂贵的磁体，因为他可以利用免费的地球磁场。最后，他完成了实验，并公开评价道："我的实验比那个家伙的实验更加精确，尽管他使用的是精密的设备，而我使用的仅仅是几块汽车蓄电池和一些导线，几乎没有任何成本。这真是太有意思了。"

现在，这个实验被人们以罗纳德和"那个家伙"（耶鲁大学的弗农·休斯）的名字命名为"休斯–德雷弗实验"，并被视为"等效原理"的精度实验。等效原理认为，自由下落的物体在引力场中处于失重状态。

这个独树一帜、富有创造性的实验为罗纳德赢得了到哈佛大学进修的机会。到了哈佛大学之后，罗纳德和他的导师罗伯特·庞德合作完成了一些设计巧妙的实验，这里就不赘述了。在回忆自己到哈佛大学进修的经历时，罗纳德说："我就像一个没见过世面的乡下人。因为手头没钱，又要上班，我很少旅游，也从不出国度假。这次进修几乎是我第一次出远门，那一年我感觉周围的一切都是那么新奇，与我想象的一点儿也不一样。"

在哈佛大学的进修结束之后，罗纳德回到格拉斯哥。这次进修不仅让他取得了丰硕的成果，积累了经验，还帮助他赢得了一些资金支持，可以组建一个小规模的研究团队。在随后的一段时间里，他经常独自待在实验室里，不厌其烦地摆弄那些工具，期待灵光一现的想法。由于从天体传播到地球的光比较暗淡，若要捕捉其中蕴藏的信息，对可见度的要求非常高。因此，他把观察活动安排在没有月光的日子里。夜幕降临之后，他会来到乡村观察星空，直到黎明时分才收工。他与几名志同道合的探索者展开合作，兴趣也变得越来越广泛。但是，这并没有带来激动人心的发现。尽管如此，他也没有因此丧失兴趣，而是继续他的天空探测工作，为以后的深入研究做准备。后来，他放弃观察光学现象，选择从声音这个角度探索宇宙的奥秘。当时，引力波已经引起了全社会的注意，成为人们关注的一个焦点。与英国同行们（包括霍金、夏玛、杰利和艾特肯等）的交谈越深入，罗纳德就越相信引力波是真实存在的，也是可以检测到的。通过不断相互交流想法，他们发明了一些简单的仪器，还设计了一些违反传统但切实可行的实验。在这个循序渐进的过程

中，他们最终确定了研究方向，也彻底点燃了研究热情。

罗纳德利用从实验室地板上割下来的橡胶垫和用剩的铅砖，制作了一些简单粗糙的设备。令他骄傲的是，这些设备非常好用。他凭借一双手、玻璃刀、玻璃、纸张、橡皮筋和一些螺丝，就可以制造出一些精度高、功能强的仪器和设备。这让罗纳德感到非常愉快，他甚至还为自己拥有这种化腐朽为神奇的本领感到惊诧。的确，他几乎一无所有，但是他具有令人称羡的创造力。

1978年，基普在加州理工学院向罗纳德发出邀请。此时，罗纳德已经在苏格兰设计出他自己的探测器，他还因为有远大的抱负和勤俭的作风而享有盛誉。罗纳德希望以低廉的成本制造一台尽可能大的机器。格拉斯哥大学报废了一台同步加速器（一种粒子加速器），罗纳德对腾出来的空间进行了重新布置，在那里放置了一台探测器。这台探测器比世界上的其他探测器都至少大一倍，但是它的长度只是加州理工学院期望尺寸的1/4。

罗纳德告诉我，为了说服他接受邀请，基普不仅向他介绍了美国在经济上对基础研究的大力支持，还具体介绍了加州理工学院这所世界知名大学在这方面的支持力度。加州理工学院确实是一所令人折服的学校，但是罗纳德也坚决捍卫了格拉斯哥大学在科研上的声望。他含蓄地对基普表示，格拉斯哥大学的科研能力被低估了。在格拉斯哥大学，他几乎不会受到官僚主义的烦扰，可以随心所欲地做研究。尽管资金短缺，但是他认为这个限制条件反而增加了格拉斯哥大学的吸引力。此外，格拉斯哥大学开展的科研项目也有很强的竞争力。当然，这些无法完全抵消加州理工学院的吸引力。

罗纳德感到难以抉择，他请格拉斯哥大学的那些长期支持他的好友为他出主意。（他说：“我非常尊重他们的意见。”）这些人都鼓励他抓住这个机会，但罗纳德仍然犹豫不决。最后，他想到了试用期这个办法。在5年试用期内，他有权决定如何分配自己的时间，兼顾格拉斯哥大学与加州理工学院的工作。他说：“当时，我没有意识到美国的情况与英国大不相同。对我而言，两者之间的差异一点儿也不明显。而事实上，两个国家的人无论是思维模式，还是行为举止，都有显著的不同之处……但那时的我并没有意识到两国的差别如此之大。”

我只在录音中听过罗纳德·德雷弗抑扬顿挫的苏格兰英语。总的来

说，他的声音比我想象的悦耳，而且声调柔和，不时地表达对历史名人的赞誉。但是，即使是一些非常简单的陈述，他也不会毫无异议地接受。我能感受到，这是他唯一一个不好相处的性格特点。1979年，在加州理工学院向他伸出橄榄枝的时候，他已经因为头脑灵活、实验能力强而名声在外了。罗纳德富有创造力，乐于奉献，但是人们很快发现，他不讲道理的特点同样鲜明。据基普介绍，雷纳·韦斯拥有丰富的基础常识。在回顾往事时，基普承认他刚开始并没有重视韦斯的这个特点，对此他感到追悔莫及。

罗纳德富有灵气，是科学界的“莫扎特”（这是雷纳对罗纳德的形容），是孩子气的灵魂与杰出头脑的结合体。对于罗纳德而言，创造出惊世之作就像吃家常便饭。而他周围的人只能扮演笼罩在莫扎特天赋阴影之下的萨利埃里[2]，并被不公平地贴上“缺乏想象力的技术人员”这个标签。即使是有天赋的科学家，也觉得自己没有得到罗纳德的重任。整个实验室仿佛变成了罗纳德一个人的探索博物馆。在与加州理工学院签约之前，罗纳德强调，只要让他担任项目负责人，而且允许他按照自己的意愿管理整个项目，他就同意前往加州理工学院。他说：“我想，我的意思应该表达得很清楚了。”各种想法不仅以方程式、等式，甚至直接以图片的形式出现在他的脑海里。在这些违背传统但富有创造力的想法的指引下，他带领他的探索博物馆不断前进。这种无须借助普通逻辑的直觉能力，无疑提升了他的天才形象，也令其他人对自己惯用的从假设开始，然后通过计算得出结论的研究方法产生厌烦。不过，罗纳德的天性也有它的不足之处。

据说，罗纳德每天都会向团队成员传递大量的想法。他的想法非常多，但在绝大多数情况下他都拿不定主意。第二天，团队根本不会因为前一天的工作徒劳无功受到任何影响，而是继续开始新的、愉快的探索活动，而且罗纳德会继续向团队成员传递大量的新想法。研究工作就像在热浪中四处飘浮的棉绒，令人无法预见进展情况。当罗纳德回到苏格兰的时候，加州理工学院的各个部门就会紧张地工作，等到罗纳德回来之后又明显地放松下来。同样，在罗纳德离开之后，苏格兰的团队也会努力推动实验进程，他们知道罗纳德很快会再次出现在他们面前，让所有原本在正轨上运行的工作偏离方向。



1980年，为了在罗纳德回到苏格兰的那几个月里保持研究工作的连续性，加州理工学院聘请斯坦利·惠特科姆担任助理教授，把控实验室的设计与建造工作。斯坦利不仅具备深厚的专业知识，而且拥有灵敏程度可以同探测器相媲美的直觉能力。（雷纳对他的评价是："斯坦利值得信赖、聪明绝顶，是一个非常出色的家伙。"）罗纳德的作用在于大批量提供想法和创意，斯坦利则负责团队的日常工作，包括搭建系统、抽走真空罐里的空气、安装激光和普通玻璃镜等。1983年，加州理工学院制造出了可以投入使用的原型机。成立研发机构的初衷是验证罗纳德·德雷弗的设计是否有效，检测激光器是否稳定，以及测试整套装备的灵敏程度。尽管斯坦利当时宣称自己是不可知论者，但是罗纳德怀疑他可能根本没指望这套系统具有探测能力。在20世纪80年代初，人们普遍比较乐观，认为宇宙中有大量的声音来源，天空中充斥着喧闹声，罗纳德是这种乐观主义的突出代表。但是，即便声源非常多，它们发出的声音也不会太喧闹。（基普肯定地告诉我，认为人们"普遍乐观"的报道言过其实了，至少理论学家们不是这样。他提到了他于1980年发表在《现代物理评论》上的一篇文章。在文章中，他说物理学规则并不否认那些喧闹声源存在的可能性。但他同时指出，根据人们当时对天文学的理解，引力波的声音要弱得多，其强度与LIGO探测器现在捕捉的目标，也就是相当于探测器臂长的十万亿分之一的信号，相差不大。）

从格拉斯哥到加利福尼亚的航班需要飞行11个小时。罗纳德总是利用这段时间，在笔记本上写写画画，或者思考机器的具体设计。有了切实可行的奇思妙想之后，他会安排加州理工学院的斯坦利·惠特科姆或者格拉斯哥大学的吉姆·霍夫具体实施。罗纳德不在的时候，斯坦利与吉姆就会分别负责加州理工学院和格拉斯哥大学的研究工作。罗纳德承认，这样的安排肯定给他的两个团队都带来了一些麻烦。

机器的噪声比预想的大。针对这种情况，他们想出了若干个巧妙的解决办法，包括减震、增加激光器的稳定性、清洁光源、关机重启和加大功率等。他们期望的理想状况是两台机器的进展程度不同，以便集中研发能力解决在上一个环节中遇到的问题，也方便他们错开安排两地的工作。但是，事与愿违，这两台机器的安装进度几乎是齐头并进，其中格拉斯哥大学比加州理工学院略快一点儿。

在5年过渡期结束之后，加州理工学院与美国国家科学基金会希望罗纳德做出明确的承诺。加州理工学院要求罗纳德·德雷弗做出选择：留

在加州理工学院或者回到格拉斯哥大学任职。对于两个团队对他的不满，罗纳德可能并不知情。他十分享受长途飞机上的安静环境，而且在下飞机之前他还有可能为加州理工学院的那些工程制图员准备好一份新的设计草案。因此，两边工作兼顾的安排让他感到非常愉快，也十分满意。

但是，他必须在加州理工学院描绘的美好前景与格拉斯哥大学提供的舒适环境之间做出选择。苏格兰有非常好的科研氛围，文化认同感也更强。罗纳德认为苏格兰人更开放，也更具有团队协作精神；而加州理工学院的科学家们，甚至包括那些学生，已经对团队合作失去了信心。他们愿意接受的不是合作，而是竞争。

罗纳德说："后来，我意识到这是一个普遍现象。美国人都倾向于独立自主，不愿与人合作。我花了很长时间才弄明白这个重要的区别，我想这也是我后来遇到的众多问题中的一个吧。"1997年，雪莉·科恩为完成一部口述历史作品，对罗纳德进行了采访。她对罗纳德的这番言辞提出质疑："但是，罗纳德，我有一个问题。从另一个层面来看，你还是选择了加州理工学院，而且你不希望与其他人分享领导权。"罗纳德回答说："是的。"雪莉·科恩追问道："也就是说，从某种意义上讲，你是能够理解美国人追求独立自主这种价值观的？"罗纳德的回答非常温和："嗯，也许是这样。"我觉得罗纳德并没有真的理解，但他本人却认为自己弄明白了。在他的心目中，这是美国文化的一个缺陷。他还以自己与格拉斯哥的同事成功友好的合作为例，证明他的这个观点是正确的。（据他在格拉斯哥大学的那些同事介绍，他们的合作远没有罗纳德记忆中的那么完美。在他们的印象中，罗纳德的行为举止常常惹人不快，他的好胜心太强，有时甚至令人感到压抑。）

不过，罗纳德最后意识到项目需要不断取得进展。他考虑到他们需要通过不断升级机器的方式，推动项目前进，而加州理工学院在这方面取得成功的可能性大于格拉斯哥大学。因此，1983年，罗纳德终于做出了决定，带着对英国研究团队的歉意，他接受了加州理工学院的一份全职工作。

基普终于帮助加州理工学院打赢了这次"战役"。不过，他们将面临巨大的风险。这是一个未知的基础物理学领域，是全新的宇宙学和天体物理学。当然，罗纳德肯定已经意识到这些公开发布的目标具有多么重大的意义。引力波的探测从某种意义上讲是一项默默无闻的研究工作，

在主流天体物理学中不占有核心地位，但是它已经一跃成为一个“新贵”，更变成加州理工学院迄今为止实施的最大的研究项目。

罗纳德利用加州理工学院的原型机，不断改进自己的设计。他和雷纳之间发生过矛盾，但是雷纳一直待在麻省理工学院，摆弄他自己的那台不知名的原型机。罗纳德对雷纳的原型机嗤之以鼻（他的评价是“毫无价值”），认为它技术落后，经济支持不足，还有一些罗纳德不屑一顾的缺陷。而德国的那个研究团队仍然值得关注。据雷纳介绍，德国人的原型机品质最高，值得称许。罗纳德之前负责的格拉斯哥团队在他离开之后并没有放弃，而且有可能取得突破，成为竞争对手之一。尽管罗纳德·德雷弗的离开使格拉斯哥大学研究团队损失了一名杰出人才，但也为他们自由使用自己的实验室并取得进展创造了一个契机。不过，罗纳德有加州理工学院和基普的鼎力相助，而且拥有当时世界上最大的探测器。一旦这台机器组装完毕，他就会一骑绝尘，甩开所有的竞争对手。罗纳德深信，在创意方面，没有人能与他抗衡。除了这个天然优势以外，他的新职位、新实验室也将起到锦上添花的作用，前景一片光明。探测器将按照他的创意，根据他的决定，由他亲手制造完成。引力波天文学的未来必将顺理成章地成为他的囊中之物。

但是，由于罗纳德的规划没有考虑到人类心理因素的影响，因此他的未来不可能一帆风顺。同样，由于这项工作从本质上来讲是用灵活巧妙的创意解决技术障碍，因此历史也必将为他们设下重重障碍。

可能所有主要的参与者都没有预料到，一段有争议性的往事竟然会对这个项目产生非常微妙的影响。早在雷纳、基普以及罗纳德之前，还有一位富有争议性的引力波探测先驱，他就是约瑟夫·韦伯。在理论学家们争论不休，或者在黑板前、书桌旁埋头钻研的时候，韦伯悄然转身，决定独自去看看外面的世界。如果引力波真实存在，他就要做第一个发现引力波的人。经过一番孤立无援的勇敢探索之后，韦伯向世人报告说，他发现了一些他自己也不明白但却非常重要的东西。在美好前景的刺激下，人们纷纷制造各种仪器、设备，加入他的行列。但是，科研争议随之而来，赞誉之词很快就变成了恶语相向。人们的热情犹若昙花一现，韦伯也很快淡出了人们的视野。

但是，约瑟夫·韦伯并没有放弃，而是锲而不舍地坚持了30多年。这笔财富无比珍贵，失败对他来说就是一场难以承受的灾难，因此他没有放弃自己的目标，而是下定决心、鼓足干劲，为实现自己的那个希望渺

茫的理想而奋斗。他的目标不是金钱，而是知识以及人们的欢呼与尊重。就这样，他踏上了这条崎岖坎坷的征程，一步一步往前走。

---

[1] 1英寸≈0.025米。——编者注

[2] 安东尼奥·萨利埃里（1750—1825），意大利作曲家。他对莫扎特怀有敌意，有人说是他毒死了莫扎特，不过这一说法现在被判定为毫无根据。——译者注

第5章
错误的宣言

Joe Weber

1969年，约瑟夫·韦伯宣布，他在实验方面取得了一个普遍认为不可能实现的成就，即成功探测到引力波的存在。不难想象，作为完成这项壮举的第一人，他肯定无比自豪；不难想象，这样的发现和成就，必然会让他欣喜至极。在实验的过程中，他几乎没有得到任何帮助，支撑他的仅仅是他一往无前的决心。他不停地计算，构思出一个又一个设计方案和奇思妙想。最后，在用掉了几本笔记本和厚厚一沓稿纸之后，他终于制造出他的实验仪器。名叫“韦伯棒”的棒状引力波探测器设计精巧，可以与引力波产生共振。实心的铝质圆柱体长为2米，直径为1米，重量约为3 000磅[1]。它的作用原理与吉他弦相似，但想弹奏出声音却不是一件容易的事。不过，如果引力波比较强，而且频率与韦伯棒的固有频率相同，它就会像音叉一样振动发声。



1919年，约纳（约瑟夫·韦伯的原名）出生于新泽西州。他的父母是立陶宛籍犹太人，他还有几个兄弟。后来，“约纳”这个名字被“扬基”取代，最终又改为“约瑟夫”。韦伯的母亲说话有很重的口音，一位老师从她嘴里说出来的乔的名字误听作“约瑟夫”（Joseph）。他的母亲点点头，表示老师的发音非常接近。约瑟夫·韦伯原本的姓名应该是约纳·基伯，但他的父母在匆匆忙忙地填写护照信息时，把全家人的姓氏误写作“韦伯”。尽管重新填写的费用不高，但他们还是选择将错就错。

为了替父母省钱，约瑟夫·韦伯从库伯联盟学院辍学，去了美国海军

军官学校。从此以后，他成为美军军官、雷达专家、导航员，最终当上一名指挥官。第二次世界大战期间，列克星敦级航空母舰在执行海军任务时沉没。当时，他正在这艘航母上服役。后来，他担任了一艘猎潜艇的指挥官。根据基普·索恩的记录，约瑟夫·韦伯在1982年的一次访谈中说："1943年7月，我受命为小西奥多·罗斯福准将及1 800名突击队员确定登陆地点。战后，我成为电子对抗部门的负责人……因此，我对美国海军的电子对抗系统非常熟悉。"韦伯的口音中带有一股历史气息，让我不禁联想到他那一代人。5岁时，约瑟夫被一辆公共汽车撞伤，必须接受语言恢复训练。这次训练彻底清除了意第绪语对他的影响，帮助他形成了浓重的美国口音。从那次事故之后，家里人都叫他"扬基"。

退役后，约瑟夫·韦伯接受马里兰大学的聘请，成为一名大学教师，"薪水丰厚得令人难以想象，每年可以挣6 500美元"。当时，约瑟夫·韦伯29岁。奇怪的是，尽管马里兰大学开出的条件之一是他必须取得博士学位，但他并没有博士学位。为了达到这个条件，约瑟夫·韦伯找到著名的物理学家乔治·伽莫夫，希望可以报考伽莫夫的博士研究生。伽莫夫教授问他："你有什么专长？"韦伯答道："我是一名微波工程师，而且有一定的经验。你能不能帮我选择一个博士研究课题？"据韦伯回忆，伽莫夫的回答是"不能"。韦伯无须向基普坦承这件事，但是我觉得你们应该知道。当年，伽莫夫与拉尔夫·阿尔弗、罗伯特·赫尔曼一起，预言了宇宙微波背景辐射的存在。宇宙微波背景辐射可追溯至宇宙的诞生，是大爆炸后残留的辐射，频率属于微波范围。如果当时伽莫夫接受韦伯作为他的博士生，那么他们有可能会凭借宇宙微波背景辐射的发现赢得诺贝尔奖。1965年，贝尔实验室的科学家阿诺·彭齐亚斯与罗伯特·威尔逊合作，在机缘巧合之下，发现了宇宙微波背景辐射。后来，他们凭借这个成果获得了1978年的诺贝尔物理学奖。据说，彭齐亚斯与威尔逊的发现是人类迄今观察到的最重要的天文现象。

现在，让我们重温一下当时的情景。一位年轻上进、技术娴熟的微波工程师走到深受世人拥戴的伽莫夫面前，问道："你这儿有适合微波工程师的研究项目吗？"伽莫夫直言不讳地答道："没有。"要知道，伽莫夫曾经预言源自大爆炸的微波背景辐射是存在的，微波背景辐射是证明宇宙起源理论的最有力证据。

在韦伯的科研生涯中，这种与重大成功失之交臂的情况发生过多次，这对他的职业发展产生了显著的影响。在遭到伽莫夫莫名其妙的拒

绝之后，韦伯开始从事核物理研究。他认真思考了微波激射器（利用受激发射原理制成的微波放大装置，它还有一个更新的名称，叫作激光器）的概念，并在1951年发表的第一篇论文里全面讨论了这个概念。微波激射器是激光器的前身。这给韦伯带来了荣誉，尽管有人认为他的实际贡献应该为他赢得更多的荣誉。如果韦伯的运气好一点儿，他就有可能凭借这一成果，与其他人共享诺贝尔物理学奖，以及专利与经济方面的回报。在此之前，韦伯已经攀上了科学的巅峰。像欧内斯特·亨利·沙克尔顿那样与“第一”失之交臂的经历，在韦伯的身上发生了好几次：他差一点儿成为第一个发现宇宙背景辐射的人，差一点儿成为第一个拥有激光发射器专利的人，差一点儿成为第一个探测到引力波的人。他也因为这些经历而为世人所知。他在接受基普的访谈时不经意地说道：“我之所以希望参与相对论研究，原因之一是我觉得这个领域没有太多争论。”他的这番话不带有任何嘲讽的意味。

在几张黑白照片中，约瑟夫·韦伯穿着白色短袖衬衫，戴着黑色方框眼镜，一头花白的头发梳向脑后。他弯着腰，正在棒状引力波探测器的中段安装石英晶体。探测器一旦发生共振，就会挤压石英晶体，产生压电效应。当电流从连接在探测器中段的电子元件中通过时，就可以记录下“琴弦被拨动后发出的声音”。整套装置非常简单，使用起来也十分便利。韦伯在马里兰大学的一间实验室中放置了一台探测器。从外观看，这间实验室十分普通。在它内部的一个狭小的房间里，一台只需一人就可以轻松操控的探测器占据了相当大的空间。其他几台探测器是在距离校园约1英里[2]的地方建造的，被安放在一幢与车库极为相似的建筑里。随后，韦伯又在芝加哥附近的美国阿贡国家实验室里安装了一台探测器。这台探测器与马里兰大学相距较远，目的是排除附近地区发生的骚乱、车祸及暴风雨等巧合事件的影响。在整个过程中，韦伯大胆执着、殚精竭虑，充分发挥了自己的独创性。探测器成本低廉，但是真的发挥作用了。每天，这几台探测器都会多次接收到从宇宙传来的信号。似乎宇宙也深受感动，为他送来了各种各样的喧闹声。他没有贸然地鉴别这些声音的来源，因为他认为宇宙噪声源是无法探知的，这份工作应该交给那些理论物理学家去完成。他发现的这个全新领域，既需要实验主义者去发现奥秘，还需要理论物理学家去解释这些奥秘。他取得了20世纪最伟大的实验发现。为了这个发现，他和他的那个中等规模的团队花了整整10年时间。这是相当大的投入，但是怀疑论者曾经认为，他们至少需要100年才能完成实验。相较之下，他们花费的时间要少得多。

1969年，韦伯出席了一个广义相对论研讨会。在这样的会议上，通常不会有什么重大的科学发现，人们讨论的都是诸如引力波是否存在的问题。但是，就是在这次会议上，韦伯公开了自己的发现。他在论文标题中写道，他找到了“引力波存在的证据”，并指出这些证据来自银河系，可能是发生碰撞的恒星，也可能是中子星或者脉冲星。与会者先是震惊，然后是掌声雷动。从此，韦伯被各种赞誉包围，并登上了杂志封面，成为名人。

基普至今还记得韦伯公开发布他的实验成果的情景。尽管他觉得韦伯有点儿操之过急，但是在惊诧之余，他也认为韦伯的这些成果不能不重视。韦伯的报告引起了物理学家们的兴趣，他们希望揭开韦伯棒振动发声的奥秘。理论物理学家也受到鼓舞，为这些声音想出了各种各样、稀奇古怪的来源。他们仿佛不是在解释韦伯的实验数据，而是在探索宇宙的全貌。罗杰·彭罗斯开始研究引力波，史蒂芬·霍金则开始研究黑洞碰撞。但是，计算结果迅速浇灭了人们的热情。韦伯估计，银河系每年需要耗损上千个太阳，释放出的能量才能与他的数据相吻合。实验主义者必须做到客观公正，因此，作为一名实验主义者，韦伯认为声音来源不可知的观点是成立的。但是，对于理论学家而言，这种观点似乎意味着世界上存在着大量不合理的能量。马丁·里斯（现在是马丁·里斯爵士）与他的合作伙伴丹尼斯·夏玛、乔治·菲尔德证明，韦伯自称探测到的那些能量不可能是银河系释放出来的，除非它轰然解体。虽然这些计算结果带有不确定性，但韦伯毫无退缩之意，尽管他也承认有些地方确实含糊不清。

约瑟夫·韦伯与约翰·惠勒在普林斯顿大学共事过一段时间。他第一次见到基普也是在普林斯顿大学，还有声名显赫的理论物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）。韦伯与戴森探讨过恒星爆炸（超新星）引发时空振荡的可能性，并且根据这次讨论，确定了韦伯棒的共振频率。韦伯经常嘲讽理论物理学家傲慢自负，但是对于戴森给予他的鼓励，他却十分重视。他回忆说：“戴森告诉我，他一直在思考这个问题。刚听到我启动这个项目时，他觉得我太疯狂了。但在认真思考之后，他第一个完成了引力坍缩的计算，并将计算结果发给我。后来，他在《星际通信》（*Interstellar Communication*）这本书中再次进行了相关计算。”

在《星际通信》中的一篇名为“引力机器”的文章中，戴森以一种严肃的态度，一反传统地研究了人类与可能存在的外星人之间建立通信联

系的好处，还对致密的死星这个引力波的可能来源进行了深入探讨。尽管我们现在可以观察到致密的死星，但在1963年，这种星体是否存在的问题还没有确定的答案。戴森猜测，先进的文明有可能安排两颗致密的死星绕轨道运行，从而以接近光速的速度弹射太空飞船。他认为，如果两颗致密的死星自然形成这种状态，就有可能产生强烈的引力波，足以让韦伯棒探测到。戴森的观点得到了人们的认可，但人们并没有视它为人类与外星人交流的一种形式，而是最有可能帮助人类直接探测到引力波的方法之一。

韦伯还从书中挑出一段令人振奋的文字读给基普听是"'引力机器'，作者是弗里曼·J·戴森……因为引力波而损失的能量将对这两个星体发生作用，使它们以越来越快的速度彼此接近。最终它们相撞，并释放出强度大得难以想象的引力波……韦伯利用他的探测器，应该可以探测到这些引力波……利用韦伯的设备探测引力波，这件事似乎值得一试。"

伟大的科学家奥本海默也对韦伯给予了鼓励。20世纪60年代中期，韦伯到机场接奥本海默。韦伯发现，奥本海默对于引力波探测也非常关注。韦伯回忆道："奥本海默对我说，'你从事的可能是这所学校里最令人兴奋的一项研究。'听到这句话，我大吃一惊，当然，我也深受鼓舞。奥本海默轻易是不会表扬别人的。"韦伯告诉基普，他的早期工作就是对收集到的证据进行登记、编号和存档。

一石激起千层浪，韦伯的研究在科学界很快掀起了一道波澜。在世界各地，包括IBM（国际商用机器公司）、斯坦福大学、贝尔实验室，苏格兰、日本、德国、意大利、苏联，以及美国加利福尼亚州、路易斯安那州和纽约州的罗切斯特市，人们纷纷建造引力波探测器。1972年，NASA将韦伯设计的月球重力仪送到了月球上面。人们对探测器进行重新设计和改进，引入新的分析技术，但是，除韦伯以外，所有人都没有探测到引力波。于是，喧闹声逐渐归于安静。

当时还在格拉斯哥大学的罗纳德·德雷弗，与他的合作伙伴以及来自英国各地（包括哈维尔、剑桥、牛津和格拉斯哥等）的其他团队一起，在结构简单的韦伯棒的基础之上，通过巧妙的改造与升级，设计出新的探测器。早在20世纪70年代初，罗纳德就认为韦伯的观点可能是正确的，并开始了在探测器技术上的投入。

剑桥大学的史蒂芬·霍金与加里·吉布森探讨了利用废旧物品组建实验

室的计划，但是他们最终没有付诸行动。为了帮助他们实现这个计划，罗纳德还跑到废品回收站去看一个废弃的潜水减压舱。结果，他认为这个减压舱的确便宜，但是没有利用价值。

20世纪70年代，罗纳德曾要求造访韦伯在马里兰大学的实验室，但由于韦伯的怒气还没有消散，同时心存疑虑，因此他直言不讳地表示不欢迎罗纳德。经过一番周折，罗纳德终于来到了马里兰大学，但他发现韦伯对他的蔑视没有丝毫减少。一见面，韦伯就告诉他："你不能径直跑进我的实验室做引力波实验。"罗纳德没有反驳，但是韦伯似乎也没有意识到自己过于乐观了。罗纳德没有把韦伯的不友好态度放在心上。回到英国之后，他开始在格拉斯哥大学建造自己的探测器，而且增加了探测器的尺寸。对于实验的前景，尽管他也有所怀疑，但他仍持乐观态度。令他郁闷的是，探测器输出的全部是噪声。他和他的合作伙伴很快就发现，可以得出结论了：韦伯的实验结果肯定是错误的。

布拉金斯基是建造探测器，并宣布没有探测到引力波的第一人。在仅仅进行了几周的实验之后，布拉金斯基就迅速放弃了原有的实验设备。他认为，要么花更大的力气，建造更灵敏的探测器，要么考虑彻底改变实验方法。继布拉金斯基之后，罗纳德·德雷弗进行了大量的探测器实验，还利用一两年的时间，尝试"各种各样疯狂的想法"。有传言说英国人在剑桥大学卢瑟福实验室开展了一个大型探测器实验项目，德国的团队则通过一个规范的探测器实验，同样对韦伯探测到引力波的宣言进行了驳斥。引力波探测器实验陷入了窘境。

在1969年宣布成功探测到引力波之后，约瑟夫·韦伯一夜成名，迅速跻身当代最著名的健在科学家的行列。但是，他的这个宣言很快就遭到了猛烈的驳斥。在随后几十年里，无论是科研资助机构，还是同行，几乎都撤回了对他的支持。马里兰大学也将他"扫地出门"。韦伯曾经把自己摆在一个非常低的位置上，对比他小23岁的第二任妻子、年轻的天文学家维吉尼亚·特林布尔做出过一个评价。社会学家哈利·考林斯回忆道："（韦伯）笑着对我说，他们结婚时，他声名显赫，而她默默无闻，但是现在情况正好相反。"这句话很好地概括了韦伯当时的处境。

即使越来越多的证据不利于他，整个科研界视他如敝履，韦伯也从不承认自己的实验结果是错误的。偶尔还会有人检验韦伯宣称直接探测到引力波的宣言是否属实，不过，大量的证据都指向了不利于他的一面。韦伯检测到的绝对不是引力波，那些记录数据可能是设备瑕疵造成

的结果，也有可能是他在分析或解读数据时出错了，更糟糕的可能是他在采集数据时存在偏见。

在韦伯发表宣言之后，IBM的实验人员理查德·加尔文可能是受到了鼓舞，也有可能是对韦伯的实验结果心存疑虑，他迅速制造了自己的探测器，并且把频率选定在韦伯棒的窄频范围内。结果，就像其他的实验人员一样，他也一无所得，并感到非常不满。通过前期的交流，他深信讲道理或者摆出原始数据都无法让韦伯改变观点，因此他决定与韦伯公开论战。1974年，在麻省理工学院举行的一次关于相对论的会议上（在约瑟夫·韦伯荣誉加身之后，他引发的争议愈演愈烈，使得这一类会议的气氛也日益热烈），加尔文站到礼堂的前面，公开驳斥了韦伯的实验成果。在习惯心平气和地讨论问题的相对论学者面前，韦伯和加尔文差一点儿大打出手。因为脊髓灰质炎而行动不便的天文物理学家菲尔·莫里森举起拐杖，将愤怒的两个人分开。虽然没有动手打架，但是韦伯摆出了不屈不挠的姿态，加尔文则是一脸轻蔑的表情。

韦伯深受刺激，越发相信自己是对的。也许有人会说，加尔文的实验效果比不上韦伯，因为加尔文的探测器比较小，建造得比较仓促，而且仅仅运行了一个月的时间。在任何情况下，任何两组实验都不会一模一样，做对比需要花很大的力气。作为一名科学家，韦伯有权利（或者更准确地说，有义务）指出对比实验中做得不对的地方。如果对比实验的逻辑不正确或者数据不充分，他是不可能认错的。

在随后的25年时间里，约瑟夫·韦伯的境况依然非常艰难。贬低他的人抓住了他的几个大错，毋庸置疑，他的宣言是不对的。韦伯发现，在银河系的中心每24个小时一次出现在我们头顶上时，他就会搜集到若干异常数据。他断定，这些信号有可能来自致密的星系核，因为引力引发的大量活动有可能导致星系核发出强烈的引力波。在普林斯顿大学举行的一次学术研讨会上，韦伯通过图表告诉听众，在银河系的中心每24个小时一次出现在我们头顶上时，数据就会出现一个非常明显的峰值，这表明致密的星系核正在发出强大的引力波。天文学家托尼·泰森与约翰·惠勒、弗里曼·戴森一起，坐在听众席的前排。泰森回忆说："听到这里，我们全都跳了起来，对他提出质疑：'韦伯，稍等一下，引力波应该可以穿透地球，不是吗？'"韦伯的结论有一个问题：既然引力波可以穿过地球，那么无论银河系在我们的头顶上还是脚底下，他的探测器都应该能探测到一组异常数据，因此这个周期应该是12个小时。在被指出他的推

理有误之后，韦伯重新分析了数据，并在两周后得出了每过12个小时就会出现异常数据的结论。这种不严谨的数据分析方式加剧了人们对他的不信任。

托尼·泰森在贝尔实验室建造了自己的探测器。在运行了一年多却“没有任何收获”之后，他觉得自己应该立即停止这个实验。但是，有可能开创一个新的物理学分支的前景仍然令他心动不已，他难以抵挡这种诱惑，因此他决定进一步迎难而上。罗彻斯特大学的戴维·道格拉斯也建造了一台探测器，而且道格拉斯与泰森的探测器是一模一样的，以便探测在相距较远的两地同时发生的异常变化。在AT&T（美国电话电报公司，当时是贝尔实验室的母公司）的帮助下，泰森实验室、道格拉斯实验室和韦伯实验室实现了同轴电缆信号传输。其中一方可以将另外两方的数据直接下载到数字磁带上，然后独立进行数据分析。

有一次韦伯宣布，他在做数据分析时发现，这些独立建造和运行的探测器采集到了某些异常数据，而且与他在马里兰大学的探测器所发现的异常数据是同时出现的。如果相距较远而且独立运行的机器同时发现异常数据，就可以证明他的宣言是对的：这些信号真的来自天文现象，而不是地球上的某些干扰因素造成的噪声。但是，道格拉斯与泰森没有发现任何异常数据。

为了校准机器，泰森曾经故意在他的数据中注入一些虚假的脉冲信号。据泰森猜测，韦伯的数据中有一些噪声与这些虚假的脉冲信号正好同时发生，使得韦伯从这些噪声中提取了错误的信号。一头雾水的泰森说：“我记得，我们把注入校准信号的事告诉韦伯了，也许是我们忘记通知他了吧。”如果韦伯宣布的同步现象是这些错误信号造成的，那么他在任何地方都可以探测到这种同步现象。更让韦伯难以辩解的是，他们三人在记录数据时使用的是不同的时间标准。泰森和道格拉斯使用的是格林尼治标准时间，韦伯使用的则是美国东部的夏令时。如果韦伯在凌晨两点记录下一组异常数据，并且宣称泰森和道格拉斯的机器在凌晨两点也记录下异常数据，那么这两组数据之间其实有4个小时的时间差，所以它们并不是同时发生的。在任何情况下，发生这样的错误都会让人百口莫辩。最后，为了平息人们认为他存在主观偏见的指责，韦伯再也不参与数据分析了。但是，为时已晚，人们对他的态度不再友好。他有意识地欺骗自己、误导自己，以致产生了不切实际的幻想，发出了错误的宣言。结果，在一些公开程度非常高的研讨会上，这个骗局被揭穿了。

韦伯备受羞辱，变成了一个令人不齿的骗子。泰森对韦伯做出了这样的评价：“他是一名伟大的电气工程师，也是一名糟糕的统计人员。”

到20世纪80年代末，这位荣休教授只能自掏腰包，来维持实验室（一幢没有任何装饰、非常简陋的混凝土建筑，位于马里兰大学的校园里，在一片树林和一个高尔夫球场之间）的开支。据说，他还真的掏出了自己的钱包，证明他确实是“自掏腰包”。门口的牌子没有得到悉心维护，“引力波观测站”这几个字已经褪色，与之一起成为明日黄花的还有它曾经代表的骄傲与自豪。

---

[1] 1磅≈0.454千克。——译者注

[2] 1英里≈1.609千米。——编者注

第6章 “40米”实验室

Prototypes

加州理工学院的校园里有一幢特殊的建筑物，从某个角度看，它的外形与拖车非常相似。这幢装有加州理工学院引力波探测器原型机的建筑应该是工程服务中央大楼的附楼，人们给它取了一个口语化的名字——“40米”。唯一通向“40米”入口的是一条小路，一点儿也不起眼。即使手上拿着苹果手机，借助它的精准的GPS（全球定位系统）软件，要找到这幢建筑也不是一件容易的事。电子地图令人摸不着头脑，它指示的位置既不在街道上，也不完全在校园的范围内。结果，我走过了一块工业用地，又走过了那条不显眼的小路。

在走过了100码[1] 之后，一直在闪烁着提示我当前所在位置坐标的手机响了。从电话传来的声音中，我听出杰米有点儿伤心。是啊，他辛辛苦苦地为我标注地图，但我还是找不到“40米”。“往回走，”他假装生气地说，“我来接你。”于是，我转过身往回走。

杰米·罗林斯是雷纳·韦斯以前的研究生，近些年来一直在从事40米原型机的研发工作。我们往回走了没多远，就看到装货区外面停着一辆拖车。我用手指着车门，露出一脸疑惑的表情。他也表现得很困惑：“我给过你地图了啊？”

一扇门代表一道门槛，说明我们从这里就可以进入这个临时性的建筑物。它其实算不上一幢建筑物，而是30年前草草搭建、为实验与研发活动遮风挡雨的一个临时性场所。没错，实验的核心操作主要是在一辆拖车里完成的。但是，实验室需要沿相互垂直的两个方向，安装40米长的管道。因此，任何与卡车大小相仿的设施都不可能满足这个条件。我

没有参观它的外围，但是很明显，拖车的前面还连接着其他结构。人们就是躲在这个普普通通的单层建筑里，辛勤工作了几十年。现在，他们的劳动终于要出成果了。在下文中，我会想方设法地把他们的这项成果介绍给你们，因为这是一项值得花笔墨去介绍的成果。迈过这道门槛，进入拖车内部，就可以了解实验的具体情况。这项实验的目的是，通过发现不到探测器长度的十万亿分之一的空间变化，来证明引力波的存在。

比例关系在极小与极大之间不断变换。信号非常微弱，但是信号源体积庞大；敏感度极其微妙，但是成功的回报特别丰厚；人类了解宇宙的雄心就像史诗遥不可及，但是天文学上的成就却像史诗那样荡气回肠。

这幢建筑与这台40米原型机不属于任何一个人，团队中的任何人都不是不可或缺的。在一点一滴地组建起来之后，随着科研人员的更替，团队又经历了重组的过程。但是，无论站在机器后面的人是谁，这台机器都没有停止工作。许多学生在这片狭小的空间里学习成长，多年来“40米”实验室也更换了几任负责人。机器里的每一个零部件都经过了一系列程序，包括设计、审核、制造、测试、改进、记录、分析等，之后才与其他部分有机地结合为一体。即使是最有创造性的零部件也必须通过实施、剖析、讨论和重新构建等环节，才会在两台全尺寸的LIGO探测器（既不在加州理工学院，也不在麻省理工学院）上安装使用。在安装时，还要按比例放大所有零部件的尺寸，并重新调试。所有的体力劳动都必须按部就班地完成，在这个过程中，实验人员养成了足够的耐心，每一步都不急不躁、目标明确、立足长远。在这台原型机前忙碌时，他们并不像太空站里的工作人员那样动作缓慢，而是步伐稳健、从容不迫。有时候，实验室里几乎空无一人，因为人们都挤在控制室里，监控探测器的运行情况。

进入加州理工学院“40米”实验室后，杰米扔给我一副护目镜，他自己也戴上了一副。他的护目镜与他的近视眼镜非常相似。我们套上纸鞋套，防止鞋上的尘土弄脏实验室的地板。鞋套只有两个尺码——一个是特大号，一个是小号——杰米示意我拿一双小号的鞋套。戴上护目镜、穿好鞋套后，我们经由一条狭窄的过道穿过一个房间，房间里有两名研究生，还有两名弯着腰坐在计算机前面的博士后。然后，我们又穿过一间狭小的控制室，那里有几台连接着光学仪器的黑白监视器。最后，我

们打开一道双开式弹簧门，进入摆放着探测器原型机的房间。门楣上、门上和门的两边都贴有一些标识。直觉告诉我，这些都是危险警示标识，但是我不知道它们的具体内容。几周后，我给杰米写了封信，请他告诉我那些标识到底是什么意思。他在回信中说：

危险

闲人免进

激光

……

这些标识可以起到很好的警示作用，防止人们随意闯进实验室。实验室既像瓷器店，又像工厂，因此在入口处需要用标识提醒人们小心谨慎，服从管理。从装鞋套的篮子到实验室的双开式弹簧门有一小段距离。走完这段路程，鞋套底部会沾上尘土。为此，他们在实验室门口的地板上放置了透明胶带，胶带可以消除鞋套底部的尘土。这样，实验室就更加洁净了。

实验物理学的实验室可能与我们之前进入的任何房间都不同。这里的灯光不会考虑美学效果，个个都非常明亮，甚至很刺眼。机器的“嗡嗡”声不绝于耳，有的时候听不到发动机的轰鸣声，而只能听到计算机设备的电扇发出的微弱声音。这里从不使用任何专门定制的吸音材料，机器的声音清晰可辨，仿佛某个后工业时代的实验性管弦乐队在演奏。

室内有两条不锈钢管道，各长40米，直径约为半米，相互垂直成L形，实验人员把它们称作干涉臂。干涉臂的某些部位连接着电线，旁边有非常狭小的空间，供人们通行。待在实验室里，护目镜不断地从我的鼻梁上滑落，这让我感到有点儿焦躁。

我问杰米：“这些护目镜的滤光效果怎么样？”我想也许没必要戴它吧。

“效果非常好。哪怕只有一个光子从激光束中逸出，进入房间，再进入你的眼睛，你就彻底完蛋了。（我确信杰米有点儿言过其实。）一定要戴好护目镜。我们把真空的光学室搬到了大气中。一整个星期，我一直跟这台机器待在一起。工作压力太大了。”

在接下来的参观过程中，我一直用一只手将护目镜牢牢地固定在我的脸上。

20世纪80年代初，德雷弗倾其所有，帮助加州理工学院建造这台40米原型机。他曾经认为这台40米原型机是他自己的，他还说过，“我以为我们已经达成共识了。”但是，其他人并不这样看。

德雷弗从未考虑过探测器的所有权问题，他认为探测器不属于雷纳或者其他任何人。公平地说，雷纳也没有动过这样的念头。雷纳毫不犹豫地指出，只要认真研究一下历史，就会发现他不是第一个想到利用激光干涉仪来探测引力波的人。早在20世纪70年代，“就有一个美国人在从事这方面的研究。我了解他的一些情况，他是韦伯的学生，名叫鲍勃·富沃德……当时，他正在思考这个问题。你瞧，这……不是我一个人的想法，其他人也有类似的想法。”

1997年，德雷弗在几次访谈中都说过，“有一个名叫鲍勃·富沃德的家伙，也在从事相关研究”。当时，富沃德在马利布市的休斯飞机公司工作。在他的劝说之下，公司同意他建造引力波探测器。

雷纳回忆说：“我与一个家伙讨论过这个想法，那个家伙又把它透露给富沃德。富沃德声称这个灵感来源于我，是一个名叫菲尔·查普曼的家伙告诉他的。我认为他的说法不准确，因为这个想法其实源自韦伯，韦伯也曾经考虑利用激光干涉仪来探测引力波。

“事实上，我们是后来才知道这个了不起的想法的。基普做过一些调查研究，发现早在我之前，莫斯科国立大学就有两个苏联人（格森施泰因和普斯托瓦伊特），已经在苏联的《实验与理论物理学杂志》上公开发表了这个想法。我当时不知道这件事，也不知道他们的姓名。不过，这两个人的名字现在经常出现在我们的论文里。他们有一个不太成熟的想法——利用光来精确测量距离。这个想法与鲍勃·富沃德以及韦伯的想法不谋而合。就这样，探测器实验在不同的地方分别展开。我的贡献是完成了噪声分析，从而确定了这个想法是切实可行的。我觉得这也是一项比较重要的工作，我这样说并不是故作谦虚。”

雷纳还解释了他当时的一些想法：“实验尚未完成，仅有一个初步的想法，在这种情况下，你一般是不会将它公之于众的。但是，我的内心有个声音说，要把这个想法用某种形式展示出来，于是我把它写进了季

度进展报告……那是一份内容十分丰富的长篇报告。然后，我就再也没有公开发表任何内容了。事实上，那份报告为整个实验奠定了基础。”

基普也主动谈到了雷纳所完成的噪声分析的重要性。这里的噪声是指使机器发出声音的所有因素，包括路上行驶的车辆、地震和激光的量子涨落等。基普评价那份季度报告是一个“壮举”。格森施泰因和普斯托瓦伊特的论文是用俄语写的，文章清楚地介绍了他们的基本思想，但没有评估噪声的影响，也没有评估可行性。基普强调：“把这个想法变成现实的人是雷纳。雷纳明确了早期的引力波探测器必将面对的所有主要的噪声源，并设计了若干应对措施。此外，他还利用一台具备这些应对措施的机器进行了噪声分析。雷纳对自己的这项工作的肯定并不足以说明它的重要性，现在回过头看，这绝对是一个了不起的壮举。”

雷纳告诉我：“我之所以没有公开发表论文，是因为这仅仅是一个想法。我现在仍然坚持这个观点。我还不具备发表论文的条件，但是我希望有一天可以发表论文。这是我需要解决的麻烦，从哲学的角度看，这个问题非常重要。我不知道你怎么看待这个问题，但是有一个想法与将这个想法付诸实施是两件截然不同的事。有的人有了一个想法之后，就会在杂志上公开发表。他们成为这个想法的拥有者，但是他们没有花一点儿力气把这个想法变成现实。对于这样的人，我十分反感，因为他们没有付出任何艰辛的劳动。有资格享有荣誉、公开发表论文的，应该是把想法变成现实的那个人。”

20世纪70年代，罗纳德·德雷弗打了一个法律的“擦边球”，通过放大微缩胶卷副本的方式，得到了雷纳在麻省理工学院内部发表的那份季度进展报告。英国团队有过一些疯狂的想法，其中就包括激光，但是德雷弗不确定他们的想法从何而来——这是他们灵光乍现的产物，还是来源于德国人的创意或者是雷纳的报告。格拉斯哥团队的研究经费非常少，而激光的费用似乎高得离谱儿。仅激光器的成本就接近一万英镑，这个价格似乎太高了，足以让他们改变研究方向，多耗费几年时光。德雷弗看过雷纳呈交美国国家科学基金会的报告，他也非常支持这个项目。德国的比林斯也迅速展开了探测器研究，他们之前放弃的某些想法就涉及激光，但是雷纳的报告促使他们将想法付诸行动。

德雷弗在20世纪70年代结识富沃德，在此之前，他已经花了两年时间思考探测器技术了，格拉斯哥团队也已经开始进行实验了。由于不确定利用激光干涉仪探测引力波的想法最初源自何人，德雷弗含糊其辞地

指出激光干涉仪是人们普遍使用的一种机器。但他认为，让激光在干涉臂中多次往复运动可以显著地提高机器灵敏度的观点，是雷纳的一个重要发现。德雷弗为这项技术找到了另外一个版本——法布里–珀罗干涉仪，因为它的成本要低得多。德雷弗不无嫉妒地承认，与他的团队展开友好竞争的德国团队，似乎在获取资金、寻求支持等方面都占有优势。利用法布里–珀罗干涉仪，他可以挽回一点儿颓势。在民主德国耶拿市举行的一次会议上，他介绍了这个想法。当时，民主德国还没有摆脱“冷战”铁幕的禁锢。德雷弗回忆道：“我坐在公共汽车上，穿过铁幕和层层防线，再加上亲眼看见民主德国人民远比联邦德国贫穷、落后的生活，我的心情久久不能平静。”

从这些早期活动开始，随着几十年来各个研究团队不断做出贡献，引力波探测器的复杂程度日益提高。之前，我只见过非常简单的探测器线条画。用线条画来表现真实的探测器，就如同通过刽子手的眼睛来了解人类的生物特征。真实的探测器是一种物质表现形式，代表的是几十年的研究、突破、调整和大量的基础性工作。我永远无法攀登到这样的高度。在这些勇士穿着登山鞋、带着冰锥和各种工具攀登科学高峰的时候，我只能与其他戴眼镜的学者一起待在山脚下，一边高谈阔论、出谋划策，一边为他们的成就大声欢呼。在这里，我们可以感受到理论学者对实验人员的羡慕之情，因为后者从事的是实实在在的研究活动。

我站在加州理工学院的“40米”实验室中，看着眼前的探测器示意图。这幅图非常详细，就像海报一样，沿着其中一条干涉臂被张贴在实验室的墙壁上。从这幅专业人员绘制的平面图上，我可以清楚地看到探测器原型机的复杂结构。在我之前看过的草图中，激光在机器内部运动的轨迹被（不准确地）表示成一个简单的环路，而在这幅图里，我看到的是远远超出我的想象、相互交叉的线条。这幅示意图太复杂了，我根本看不明白。我想给这幅图拍张照片，便于以后仔细研究，但随后我又放弃了这个想法。加入LIGO科学合作组织的人，都需要签署一份谅解备忘录，以法律的形式承诺自己的行为不会辜负该组织的期望。我没有签署谅解备忘录，因此我不确定哪些行为是被允许的，哪些行为是不被允许的。

“我不是LIGO科学合作组织的正式成员，你们为什么同意我看这些东西呢？”

杰米笑了，用手肘轻轻地捅了我一下：“难道你回家后也准备建造一

台探测器？”

如果有人想自己建造一台探测器，那么他需要完成以下工作。第一，寻找一个不会发生地震的地方。第二，建造两个相互垂直成L形的管道，越长越好。当有引力波经过时，干涉臂就会发生极其微小的伸展、收缩变化。可探测的引力波强度取决于被称为干涉臂的两根管道的长度。通常，引力波可以使干涉臂的长度发生十万亿分之一的变化。如果干涉臂过短，其探测引力波的灵敏程度就会降低，可能无法发现长度上的微小变化。

第三，在L形管道的拐角处，放置一台大功率的高能激光器，将激光发射至分光器。顾名思义，分光器的作用就是将激光分成两束，一束激光进入其中一条干涉臂，另一束激光进入另一条干涉臂。然后，抽空管道里的空气、致污物和所有颗粒状物质。这一步非常重要，可以确保激光畅通无阻地从空无一物的管道中通过。让管道实现真空是一个大难题。管道中不能有空气，否则就会散射、吸收激光，从而影响激光的运动。激光在全尺寸探测器内运动整条臂的距离大约需要十万分之一秒的时间。

第四，选用尽可能细的绳索，把光滑平整的反射镜悬挂在干涉臂的末端。以这种方式悬挂的反射镜，可以做自由度非常高的横向运动。空间一旦发生振荡，反射镜就会“随波逐流”，沿着管道的方向自由摆动。

第五，利用这些做工精致的镜面的反射作用，让激光沿干涉臂原路返回，并且在起点处汇合，此时，从一条干涉臂返回的激光将与从另一条干涉臂返回的激光在分光器处发生干涉。如果两束激光的传播距离正好相等，那么它们在干涉图样的亮斑处就会完全重合，在暗斑处则相互抵消。如果一条干涉臂的长度稍有缩短，而另一条干涉臂的长度略有增加，那么两束激光的传播距离就不会相等。在它们重新汇合时，干涉图样可以记录下两束激光在传播距离上的微小差值：大约是质子直径的千分之一。换算成传播时间，就是10^{27}分之一秒。做到这一步之后，你的探测器就可以投入使用了。

重复上述步骤，因为你至少需要两台探测器。第二台探测器必须远离第一台。第二台探测器的作用不仅在于确认第一台的探测结果是正确的，而不是空欢喜一场，它还要确定引力波的位置。在地球上使用两台探测器，与每个人长着两只耳朵有异曲同工之妙。

也就是说，我们可以参考草图，建造L形管道，把它们抽成真空状态，发射激光，挂上几面镜子，让激光汇合，观测激光的干涉图样，就可以探测到引力波了。这真是太简单了。

几乎可以肯定的是，你会认为这个实验非常简单。刚开始的时候，雷纳·韦斯的想法确实非常简单：让镜子自由地悬浮在空中，使之可以随着引力波晃动；然后，在这些镜子的周围建造一个探测器。不久前的一天，雷纳气急败坏地从一个LIGO探测器的主实验室走了出来，嘴里还说着一些难听的话。当时，他们正在安装高新激光干涉仪。在场的一位同事不知道自己是否应该说些什么，就随口问了一句："进展如何，雷纳？"

"该死，这台机器太复杂了！"雷纳头也没回地边走边大声喊道，"真是太复杂了！"

---

[1] 1码≈0.9米。——编者注

第7章
蓝皮书与三巨头

The Troika

学术批评的道德伦理标准可能大同小异。即使受到批判的是某个特定组织独有的成果，情况亦如此。对于科学界而言，犯错实际上就是犯罪。可验证性是所有科研活动的根本准则。你宣布在实验中探测到了引力波，但是，全世界的许多科学家利用相同的设备做实验却一无所获。这种虚报成果的行为不仅会让你一无所获，还会让你名誉扫地。韦伯肯定相信自己对数据的统计分析是正确的，我也认为韦伯不会故意歪曲实验结果，甚至大多数人都会同意我的观点，然而，并非没有人持相反的观点。

在韦伯棒实验失败之后，了解情况的雷纳·韦斯、基普·索恩和罗纳德·德雷弗都有足够的理由远离这个泥潭，以免玷污自己在科学界一向洁身自好的形象。但是，这三个人都没有退缩。他们各自独立思考了这件事的前因后果，不谋而合地认为韦伯为他们指出了一条光明大道。罗纳德在花了一些时间考虑地理方面的因素之后，决定开始研究激光干涉仪。雷纳在不经意间知道了激光干涉仪之后，就立刻被它吸引了。基普在踏上激光干涉仪研究的征程之前，先是有条不紊地收集实验人员的建议。

基普在他的著作《黑洞与时空弯曲》（*Black Holes and Time Warps*）中引用了爱因斯坦的一段话："在黑暗中默默探索的岁月里，真理似乎唾手可得但又无以言表的感觉，让我们萌生强烈的探求渴望，让我们忍受自信与疑虑的交替折磨，直至最后我们拨云见日，一切豁然开朗。但是，其中的酸甜苦辣没有亲身经历过的人是无法体会的。"韦伯一夜之间声名鹊起，随后又名誉扫地，一喜一悲的大起大落，肯定也令这

些真理探索者深感不安。因此，众多实验科学家放弃了这个领域。就整个科学界而言，人们肯定不愿意掏出真金白银，投资研发那些吃力不讨好的新技术设备。风险规避意识已经深入人心。韦伯棒至少不需要大笔投资，但如果建造激光干涉仪，仅用地板胶垫和苏格兰汽修厂的备用蓄电池，显然是不够的。在众多科学家的眼中，引力波的探测工作已经无疾而终了。

但是，基普、罗纳德和雷纳在“强烈探求渴望”的驱使之下，希望可以继续这项艰苦的工作，探求“似乎唾手可得但又无以言表的真理”。他们辛勤耕耘、“在黑暗中默默探索的岁月”远远超出了他们的预期。他们不停地努力，以期实现“拨云见日，一切豁然开朗”的重大突破。虽然韦伯的经历可能会让他们名声受累，给他们带来种种阻碍，但他们认为这不过是科研活动的一个不可避免的部分。他们已经全身心投入其中，其他团队的竞争只会驱使他们更加努力，通向巅峰的那条路是他们眼中看到的唯一前进方向。

在罗纳德·德雷弗和斯坦利·惠特科姆在加州理工学院建造那台40米原型机的同时，雷纳也确定了自己的研究方向。此时，他已经完成了大量的理论研究工作，而且得到了基普的大力支持。尽管加州理工学院团队与麻省理工学院团队之间保持着畅通无阻的交流与沟通，但是雷纳与罗纳德的原型机大不相同，某些基础性技术的思路也截然不同。至少在罗纳德的眼中，他和雷纳在某种程度上存在着竞争。刚开始时，雷纳给罗纳德留下了深刻的印象。罗纳德说：“从一开始，他就安装了大量的部件，包括真空管、激光器等。所有主要部件，很早就已经准备好了。但是，让我感到奇怪的是……多少年过去了，他似乎再无进展。”遗憾的是，他说这番话时的腔调以及抑扬顿挫的苏格兰口音，都无法在这里表现出来。

雷纳手上的资金不足，得到的支持也不多。他回忆说：“当时，我竭力向系里解释我为什么要探测引力波。我告诉他们，我的动机之一是寻找黑洞。可是，他们说黑洞根本不存在，让我不要再提这件事。这一幕至今还清晰地留在我的记忆中。

“麻省理工学院没有成为LIGO项目的启动地点，这是一个非常重要的原因。麻省理工学院的一些教授是我的朋友，虽然他们没有旗帜鲜明地反对我的这个项目，但是一些有影响力的人坚持认为，所有可以证明黑洞存在的证据，在黑洞不存在的情况下也可以得到合理解释。这种观

点彻底破坏了那里的引力波研究氛围，麻省理工学院再也不是现代万有引力研究的有利环境了。”

雷纳的第一批以引力波作为毕业论文题目的学生遭到了论文答辩委员会的刁难。这些学生建造的1.5米原型机的灵敏度不高，绝不可能捕捉到真的从太空中传来的声音。即使太阳爆炸，这些机器也不会有反应。论文答辩委员会的一位成员挖苦他们说：”我们直接看看窗外，效果也比这些机器好。”直到现在，雷纳仍然对此耿耿于怀，总会咬牙切齿地说一句“真没眼光”。在这些原型机的制造技术以及用于理解假设数据的前瞻性算法中，融入了这些学生的大量奇思妙想。一名学生想要探测正在发生爆炸的恒星，还有一名学生希望能观测到黑洞碰撞的过程。的确，机器的灵敏程度与探测到这些声源的真正要求之间相距甚远，但是他们的努力已经为未来的研究工作绘制了一幅蓝图。雷纳说：“孩子们深入思考的一个问题仍然是：要在物理学上取得杰出成就，路到底在何方？”雷纳和他的学生们没有取得可以公开发布的科研成果，在天体物理学领域，他们还没有任何发言权。

雷纳一直认为，要确保激光干涉仪发挥探测作用，它的体积就不能太小。他非常清楚那些以噪声形式表现出来的物理限制。学生们纷纷想出各种办法，尽量降低背景噪声，为真实信号抗衡背景噪声创造条件。但是，与他们所期待的来自太空的声音相比，噪声的强度仍然要高出成千上万倍，甚至几百万倍。每次检查探测器的可靠性，它的投影比例尺就会随之增加。雷纳知道，他再也不会建造新的原型机了，因为他希望从事的是科学研究。他努力压抑自己的本能，却被迫走上了一条不愿意走的道路。根据亲身体验，他知道大型项目往往意味着徒劳无功的努力、无穷无尽的麻烦，以及让人抓狂的管理难题。但是，科学研究却要求他完成一个大项目。他需要建造的不是1.5米原型机，也不是3米原型机，甚至不是40米原型机，而是一台巨大的机器。他唯一的可行性选择是建造一台千米级的机器。雷纳说道：“我不喜欢大科学。但是，要做这个实验的话，就必须大兴土木。这是继续这个项目的唯一方法，是科研活动提出的要求。如果你说你可以用一台小型机器来完成这个项目，那你一定在吹牛。”

到1979年年底，雷纳已经和他的原型机共度大概10年的光阴了。10年来，这台机器已经被他用到了极致。他决定前往华盛顿，说服美国国家科学基金会万有引力物理学项目的负责人里奇·艾萨克森。很多人认

为，引力波项目之所以能够维持下去，应该全部归功于艾萨克森一个人。基金会已经拨付了几笔数额不太庞大的资金，用于支持探测器的更新换代。加州理工学院的罗纳德得到了一些资金，麻省理工学院的雷纳也获得了一些，不过金额不及罗纳德。扩大规模的工作令雷纳畏惧不已。在他的那间小实验室里，所有的东西都可以通过手工方式制作出来，而规模扩张需要耗费大量的财力和时间。但是，引力波探测器实验需要在一个遥远的地方辟出一大片地，还需要建造一台复杂得多的机器。无论从哪个方面看，规模都不会很小。因此，雷纳必须与美国国家科学基金会共同探讨这项工作。

项目负责人里奇·艾萨克森“为人诚实，简直就是我们的救世主。里奇·艾萨克森为什么会拯救我们呢？因为他本人研究的也是这个领域。”艾萨克森通过规范可信的计算，证明了时空振荡的能量会以引力波的形式向外传播，而且他是第一批完成证明的人。艾萨克森在科研上投入了大量的精力和财力。作为美国国家科学基金会的项目负责人，他希望基金会能接受这个有价值但也有风险的项目，因为其他机构和组织都不会在这个领域宣示主权。万有引力这门学科不属于美国能源部、国防部，甚至NASA的管辖范围。艾萨克森认为，这是美国国家科学基金会独立描绘美好蓝图的有利时机。引力波天文学记录的是望远镜中看不到的宇宙，这是天文学的一个前景光明的全新分支。引力波的探测有风险，富有争议性，从技术上来讲是一个几乎无法完成的任务，但它能为我们开辟一条非同寻常的道路，为更有价值的研究奠定基础。

艾萨克森和雷纳经常去距离雷纳家不远的瓦尔登湖边散步。一个是手握大笔科研经费的项目负责人，一个是需要资金支持的项目负责人，两人一起款步而行，友好地探讨问题，偶尔也会意见不合。这一幕仿佛在告诉人们，不仅知识难以掌握，生活同样充满变数。不过，这一次是雷纳前往华盛顿，与艾萨克森会合。我不确定他们有没有选择惯常的相处方式，在美国国家科学基金会总部大楼附近的某个地方散步，抑或是坐在桌边正式地交谈。但是，我可以想象，他们可能会在华盛顿特区找到一个类似瓦尔登湖的地方，作为交谈的场所。这两个人喜欢在空旷的场所散步，似乎是因为他们知道特工更容易监视敌方间谍的室内活动。雷纳介绍了他制造原型机的整个过程，以及他遭遇的一些内在限制条件和科研界的抵制态度。尽管艾萨克森对于这项研究的科研潜力非常感兴趣，但他面对的阻碍也非常大。项目的成本尚无法确定，但是根据粗略的估算，所需资金与天文学领域的全部科研预算相差无几，仅这一项就

已经让他“目瞪口呆”了。此外，一位科学家犯下的错误导致这个领域里其他科学家的观点发生了变化。对于韦伯留下来的烂摊子，美国国家科学基金会必然不愿意接手。

雷纳解释道：“我在马里兰大学的时候，经常去韦伯的实验室。我们只是一般朋友的关系。但是，我认为约瑟夫·韦伯值得赞扬，时至今日，我仍然会肯定地告诉他的妻子：韦伯开辟了一个新的领域，他配得上这份荣誉。他富有想象力，但他不是一名优秀的实验人员。毫无疑问，后来者都因为他的错误吃尽了苦头。

“对这些后来者而言，韦伯犯下的错误的确是非常严重的麻烦，不是吗？”（不过，艾萨克森也表明，由于人们不断旧事重提，因此韦伯的这段往事的负面影响被夸大了。事实上，在当年他们形成决策的过程中，这件事的制约作用并没有那么大。）雷纳对艾萨克森说，“现在，如果它还得不到改进，不能用于真正的科研活动，我就真的坚持不下去了。”

雷纳提出，他将与行业伙伴合作开展全面研究，以确定是否可以建造出一台科学、可靠的探测器，并且算出需要投入的成本。这已经不再是科学研究，而是一项行业性研究了。如果研究可以得出令人信服的结果，全尺寸探测器也可以变成现实，艾萨克森就可以把它作为一个新的大型科研项目给予资金支持。如果前景光明，雷纳只需振臂一呼，就会应者云集，因为引力波探测的前景仍然令全世界的科学家激动不已。雷纳说：“我向艾萨克森保证，我会让那些科学家聚集到我的周围的。”

即使研究结果不那么理想，他们也不会放弃，至少雷纳会坚持下去。我能想象他们在达成一致意见之后热情握手的情景。

雷纳和他的麻省理工团队为这项被称为“蓝皮书”的研究投入了三年时光，就在他们准备将研究结果提交给美国国家科学基金会的时候，雷纳在意大利的一场关于广义相对论的会议上遇到了基普和罗纳德。雷纳回忆说：“那次开会，我是带着我儿子一起去的，那也是我第一次带我儿子参加这类活动。那时候，他十三四岁。我记得参加会议的有德国团队、苏格兰团队、罗纳德团队，还有基普。我和他们聚在一起，询问他们是否愿意在这项研究接近尾声的时候加入进来。

“就这样，我的儿子本杰明在我的介绍下认识了基普和罗纳德。我把‘蓝皮书’计划告诉了他们。在那之前，基普一直在劝我：‘哎呀，为什

么要把这些东西搞得尽人皆知呢？那些没事就泡酒吧的人是不会感兴趣的，真正感兴趣的是我们这些人。’他希望只由加州理工学院和麻省理工学院合作开展这项研究，而不希望其他大学插手。在这个问题上，我的立场不是很坚定，于是我接受了他的建议。我非常尊重基普，也许这就是我赞同他的部分原因。直到现在，我对基普仍然充满了敬重。他提出建议，我觉得理应如此，大概就是这么一回事吧。在一定程度上，这可能与我和基普的私交有关。

“我以前根本不认识罗纳德·德雷弗，也不知道他是多么难以捉摸。直到那天晚上在宾馆相遇，我才意识到我面对的绝对是一个疯狂的家伙。我不停地向他解释这个计划，告诉他我们应该合作。但他却一口回绝了：‘我来加州理工学院的目的不是与你合作，而是搞自己的研究。我为什么非得和你合作呢？’你看，这就是他的回答。这样的对话持续了几乎一整个晚上。坐在旁边的我的儿子听到这些，几乎无法相信自己的耳朵。基普不停地打断，试图让气氛缓和下来。后来，我儿子问我：‘你想干什么啊？这个家伙既然不想和你合作，你为什么要抓着他不放呢？’我回答说：‘这件事，他一个人做不了，我一个人也不行。这个项目太大了，我们必须合作。’

“这个问题直到最后也没有真正得到解决。不过，基普说服了我，他建议由加州理工学院和麻省理工学院共同提交一份报告。”（为了尊重事实，基普补充道：“从严格意义上讲，‘蓝皮书’是由麻省理工学院完成的，但是加州理工学院的斯坦利·惠特科姆也做出了少许贡献。”）

雷纳接着说道：“我们终于做了一次现场报告，我记得那是在1983年的10月。”

他告诉我：“我们在报告中介绍的那个想法可能要耗资7 000万美元，这是行业研究得出的数据。这么大一笔钱，真是吓死我了……我们有两个场地，但除此以外几乎一无所有。在这种情况下，基普用尽浑身解数，终于把罗纳德·德雷弗拉了进来。罗纳德不想跟别人合作，他希望独立做科研，所有的事都由他自己完成。但是，基普告诉他，光凭他一个人是无法完成这个项目的，尽管基普也不太清楚‘大科学’应该怎么搞。

“从此以后，麻烦就接踵而至。我和基普在这个问题上的观点是不一致的。我认为罗纳德加入之后，整个情况都会发生改变。我知道仅凭一

个机构的力量是无法完成这个项目的，我必须让基普相信，情况确实如此……然而当时，基普的态度就像被迫接受了一场婚姻。我知道，这样的‘婚配’是不可避免的，任何相反的想法都是荒谬、行不通的。最后，美国国家科学基金会也接受了这样的安排，他们已经等了很长时间了。

“很多人都有一个得诺贝尔奖的梦想，说真心话，这是这个领域的一大问题。是的，我认为这是一个不容忽视的问题。在我看来，罗纳德·德雷弗难以相处，这就是原因之一。在华盛顿的时候，我跟他说过一次，但是他拒不承认。此外，美国国家科学基金会也经常宣扬，诺贝尔奖是我们应该追求的目标之一。如果我们真的能拿到诺贝尔奖，我们就将开辟一个全新的领域，美国国家科学基金会也可与诺贝尔物理学奖挂上钩。对一个机构来说，这非常重要，我们就是处于这样的背景中。

“我们刚刚说到哪里了？对，我们达成了一个初步的约定，勉强把加州理工学院和麻省理工学院拉到了一起。其实这算不上加州理工学院和麻省理工学院之间的合作，而是我与罗纳德之间的合作。

“接下来，加州理工学院的人很快就会发现，麻省理工学院的研究进展非常缓慢。我的意思是，加州理工学院的动作非常快，而麻省理工学院却快不起来。

“接下来的情况是，麻省理工学院消极怠工，而加州理工学院迅速接手了这个项目。这让我感到非常恼火，你也许能理解我的心情。我对那些人的怒火一直没有平息。我指的不是加州理工学院的那些人，他们拯救了这个项目。让我怒火中烧的是麻省理工学院的那些人。”

（后来，雷纳又补充道：“我说的都是那时候的事，而不是现在。”麻省理工学院作为一个集体，在20世纪90年代中叶经历了管理层的更迭。之后，所有人的心态都发生了变化。“从那以后，麻省理工学院对这个项目的支持力度非常大。这一点十分重要。”）

罗纳德前往加州理工学院时，并没有考虑加州理工学院与麻省理工学院开展大规模合作这个背景因素。他认为，单凭他自己心灵手巧的优势，就可以建造出一台足以满足科研要求的小型激光干涉仪。雷纳的观点与罗纳德相悖，雷纳认为这不现实。但是，罗纳德不会轻言失败。基普对罗纳德的看法与雷纳一样：“他根本不属于我们这个世界。”他们的合作，将使这个项目不再是遥不可及的梦想。基普希望可以说服罗纳

德，但是雷纳告诉他："这个项目是一个金娃娃，已经被罗纳德抱在怀里了。"

说到雷纳，罗纳德忍不住抱怨道："我觉得他试图强行插手我们正在开展的项目，而且他非常好胜……尽管我们之间的关系比较友好，但也会产生各种各样的矛盾。"他接着说道："我说过，在这方面，雷纳·韦斯很早之前就有想法了。不过，他的实验规模一直非常小，进展缓慢，未来也不会太快。我觉得，我在加州理工学院从事这项工作的时候，我们制造的机器比雷纳·韦斯的原型机先进得多，在所有方面都更加优秀。雷纳取得的成果非常有限。从本质上看，他的激光干涉仪非常小，效果也不好。我认为，原因不在于机器的尺寸太小，而是设计不太合理。"（显然，雷纳并不同意罗纳德的这些观点。）

罗纳德听说"蓝皮书"计划之后，他震惊不已，也深感不安。他认为，在这些小问题得到解决之前，他们不应急于求成，投入数额惊人的资金，启动大规模项目。此外，他肯定还认为不应该由雷纳负责这个项目。罗纳德希望先建造中等规模的机器，然后按部就班地扩大规模，因此，雷纳希望建造巨型探测器的"野心"令罗纳德非常生气。但是，基普坚定地认为，如果仅为了满足研究需要而建造一系列中型探测器，而且每一台的灵敏程度都不能满足探测引力波的需要，那么他们绝不可能取得成功。因此，他认为直接建造大型激光干涉仪是有必要的。关于这个过程，人们众说纷纭、莫衷一是。一个比较权威的说法是：美国国家科学基金会直截了当地告诉罗纳德·德雷弗，要么开展合作，要么停止研究。后来，罗纳德与雷纳一样，多次跑到美国国家科学基金会游说，但是基金会没有改变主意。再次扩大机器的规模时，就必须保证它可以用于探测工作。只有合作才能为这样的大型项目提供资金，为它取得成功创造条件。因此，合作势在必行。

罗纳德非常恼火，对雷纳更加不满："只要是我提出的想法，他几乎都会反对。他半路加入项目，却想换一个新的方式……此外，在我们开会时，雷纳总是提出各种各样稀奇古怪的计划，还制定了执行这些计划的时间表。这让我非常生气，我觉得他一心想掌控全局。但是，那些有效的技术都是我们研发的。因此，我不喜欢他这种做法。"接着，罗纳德又补充了一句，"那些想法和创意都是我提出来的。"

但是，雷纳在技术上对自己充满信心，因为那些技术都源于德国团队堪称典范的成果。德国人建造了世界上最好的探测器原型机，而且对

它们了如指掌，实现了雷纳在1972年的季度进展报告中提出的模糊不清的预期目标。总之，雷纳认为德国人为他的“蓝皮书”计划提供了充足的理由。基普、雷纳与罗纳德在意大利广义相对论会议上发生不快时，麻省理工学院万有引力研究团队已经在雷纳的领导下，完成了这项行业研究。工程技术公司测试了组件，而且基本上完成了零部件的定价工作。对探测器的验查涉及所有方面，行业合作伙伴详细地询问了管道、构造、激光器及声源等的情况。经过3年时间，雷纳与麻省理工学院的同事彼得·索尔森、保罗·林赛一起，在419页的“蓝皮书”中对研究结果进行了综述，并做出了技术说明。1983年10月，这份关于“长基线激光干涉仪的研究报告”被提交给美国国家科学基金会。其中的预算还不到1亿美元，用于建造两台仅包含基础结构的千米级探测器。建造这两台机器时，这个预算方案是行不通的，因为实际成本要比预算高出几亿美元。不过，人们终于可以坐到一起讨论这个问题了。

“蓝皮书”的摘要部分指出，“人们也许期望这次研究可以得出肯定的结论，但是情况有可能出乎人们的意料。比如，基本概念可能有瑕疵，技术准备可能不充分，成本可能高到不可思议的程度。研究表明，人们担心的这些问题可能都不会发生。”

“蓝皮书”对于项目是否可以得到资金支持没有做出任何保证，这份行业研究报告本身也不具备申请报告的效用。但是，“蓝皮书”有力地证明了实验目标是可以实现的。

提交“蓝皮书”之后，雷纳、罗纳德和基普开始起草研发计划，直到几个月后他们才达成一致意见。随后，他们为美国国家科学基金会做了几场颇有说服力的现场报告。基普介绍了天体物理学的发展前景，希望可以激起美国国家科学基金会的兴趣；罗纳德化身为讲故事的高手，操着一口动听的苏格兰英语，为他们描绘了创造性的动人梦想；雷纳则用行业研究报告的具体结论为基普和罗纳德的想法进行了一个完美的诠释。就这样，他们成功地表达了他们的核心思想：他们可以完成这个项目，并建造出能记录来自太空中的声音的机器。

不久之后，这个项目被命名为“LIGO”。人们对这个名字的评价毁誉参半，而且无论是赞扬还是贬斥，人们针对的目标都是雷纳。基普想把它命名为“束流检测仪”，但是雷纳认为这个名字的科幻色彩太浓。后来，他在餐桌旁想出了一个新方案：用“Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory”（激光干涉引力波天文台）的首字母

组合来命名。后来，“LIGO”中的“O”（天文台）给他们造成了巨大的痛苦，几乎让他们彻底崩溃。不过，这种痛苦直到几年后他们面对国会质询时才降临到他们身上。

雷纳放弃了那台1.5米原型机，又建造了一台5米原型机，以开发可以实际使用的零部件。这台原型机被放置在“夹板宫殿”的F翼，一直运行到“夹板宫殿”被拆除的那个星期。雷纳向我展示他从布鲁克林派拉蒙电影院淘回来的古董级奥特蓝星扬声器时，在那栋宛若蜂巢的办公大楼的隔壁，就有一台探测器。现在，探测器的构造已经非常庞大了。科学家们围着探测器，拆除老旧落后的零部件，代之以高新的零部件。

他们的合作没有任何正式的形式，但是雷纳说：“我们给外界的感觉是，我们三个人——基普、罗纳德和我——构成了一个团队。我们（最终）成了怪异的三巨头组合。”

基普告诉我：“这个过程其实复杂得多。”如果要更详细地介绍三巨头组合的形成过程，还需要追踪随后几年发生的事。1983年秋，这三个人承受的压力达到了顶点。基普评论道：“麻省理工学院与加州理工学院的合作是一个异常复杂、历尽艰辛的过程。”

在他们意义重大的合作历经发起、结盟与权力更迭的过程中，最重要的环节终于登场了！

第8章
发现脉冲星

The Climb

天文学家约瑟琳·贝尔·伯奈尔对罗纳德·德雷弗的评价是："他富有创造性，而且以此为荣。"为了学习物理学知识，约瑟琳从北爱尔兰来到格拉斯哥大学，罗纳德成为她的研究生导师。他经常把自己大脑里的有趣想法，分享给他指导的几名学生，其中就包括催生休斯–德雷弗实验的那些想法（不过，她当时并没有意识到，罗纳德是在他乡村的家里完成这个实验的）。但是，这些对学生们的考试成绩没有任何帮助。刚开始的时候，因为罗纳德不愿意在学生们完成固态物理学作业时提供任何帮助，约瑟琳对他十分不满。但是后来，罗纳德在基础物理学上的深邃见解以及他的实验天赋都让她折服。研究生期间得到罗纳德指导的约瑟琳毕业后取得了一些重要发现，并且反过来对罗纳德产生了影响。罗纳德给约瑟琳的评价是："显然，她在学生当中出类拔萃……因此，我对她非常了解。"20世纪60年代中期，约瑟琳前往英格兰的乔德雷尔–班克天文台求职时，罗纳德还帮助她给这个在射电天文学领域里占据重要地位的机构写了一封推荐信。但是，罗纳德说："乔德雷尔–班克天文台不愿意接受约瑟琳，因为她是女性。当然，他们的正式理由不是这个。约瑟琳非常失望。"为了凸显其荒谬之处，他又补充了一句："约瑟琳的第二选择是去剑桥大学。你明白了吧？"罗纳德认为，这是一个纯属偶然而又非常不错的转折点。他笑着说道："于是，她去了剑桥大学，并且发现了脉冲星。你明白了吧？"

在职业生涯后期，约瑟琳·贝尔·伯奈尔转而研究X射线天文学，并参加了研制"羚羊"5号X射线天文卫星的英美合作小组。1974年10月10日的清晨，"羚羊"号卫星成功发射，当天中午，脉冲星发现者被授予诺贝

尔物理学奖的消息传到了约瑟琳的耳朵里。对她来说，这则消息有两个特别的意义。第一，诺贝尔委员会终于承认天体物理学是有资格获得诺贝尔奖的物理学分支。20世纪20年代，埃德温·哈勃发起过一场运动，试图改变天体物理学的学术地位，但是没有成功。第二，她的名字没有出现在获奖名单上，这个奖项被颁给了安东尼·休伊什和马丁·赖尔。

约瑟琳那时24岁，是剑桥大学的研究生，与她的导师安东尼·休伊什一起，致力于类星体的探索工作。所谓类星体，就是在地球上看像星星那么小的明亮的射电源。在她奔波在野外安装射电望远镜的那个年代，类星体仍然被人们称作类似恒星射电源，而且这些射电源在人们眼中还是十分神秘的存在。射电望远镜在发现类星体方面效果不错，但在辨识这些类星体的体积时却作用不大。此外，射电望远镜还显著地改变了天体物理学的发展进程。在记录纸上记录的内容，除了被探测到的类星体外，还有大量的错误和异常现象。他们使用的记录纸非常多，因此他们以英尺[1]为单位，来表示记录纸的数量。约瑟琳一丝不苟地检查了几百（或者几千）英尺长的记录纸。大多数的异常现象都是人造光源或者某种形式的探测器干扰造成的。但是，有一个奇怪的信号不断出现。约瑟琳最后认为，这些信号肯定来源于某种星体，而且她逐渐意识到她的这个发现具有非常重要的意义。就像媒体经常报道的那样，由于这个信号不断出现，圈子里的人给它的来源取了一个“LGM”的绰号，意指“小绿人”（little green men）发来的信号。进一步的研究表明，与这些智慧的“小绿人”文明所制造的“产品”相比，还有一些“时钟”走时更加精准，这就是后来发现的脉冲星。

脉冲星是高度磁化、高速旋转的中子星。脉冲星的磁场强度超强，通常是地球磁场强度的数百万至数万亿倍，在极个别情况下可达到数千万亿倍。所有中子星的质量都不到太阳的两倍，直径不足30千米。中子星的旋转速度很快，每秒可以转一圈至几百圈。粒子经过磁场加速后，速度可以接近光速，发出强如灯塔光束的光。在这种由致密物质构成的近似完美的球体高速旋转时，这些光束也向周围发射。众所周知，一茶匙的中子星物质与地球上的一座山的质量大致相仿。中子星上的引力非常强，人在那里会被液化，融入星体里的致密物质。因为引力作用非常强，中子星表面不会出现不规整的现象。一旦有山脉隆起，就会被引力拉平。在一颗典型的中子星表面，不规整的程度非常小，10厘米的隆起就可被视为山峰。不过，具体情况取决于中子星的外壳。目前，人们对中子星的外壳还不是非常了解。中子星的旋转有很强的规律性，因此会

在数据流中产生固定周期的信号。当中子星的光束以一定的时间间隔从地球表面掠过时，可以产生极其精准的计时效果，在某些情况下，它的精准程度甚至超过最精确的原子钟。当然，当约瑟琳·贝尔·伯奈尔于1967年发现第一颗脉冲星的时候，她可以做出两个确定的推断：第一，这一系列的脉冲信号呈现出很强的规律性，脉冲率约为每秒一次；第二，它们来自宇宙深处。

约瑟琳回忆说，当数据中第二次出现这样的信号时，“她感到异常兴奋”。因为她知道，这种奇怪现象正在逐渐表现出重大发现的一些特征，“一旦发现一个有规律的信号，就会接二连三地发现更多有规律的信号”。就这样，她发现了人类有史以来发现的第一到第四个脉冲星。

一年之后，人们在蟹状星云的中心位置发现了一颗脉冲星。蟹状星云是超新星爆炸后抛射出的明亮残骸。1054年，地球上的人第一次观测到蟹状星云，并在历史文献中记录下这个天文现象。这颗脉冲星的发现表明，中子星是恒星发生引力坍缩形成的。现在，人们推断银河系里有上亿颗中子星，其中有几十万颗是脉冲星。

成为诺贝尔物理学奖的得主，休伊什可谓实至名归，因为正是在他这位导师的安排下，他的学生才会完成这项任务的，尽管休伊什当初的安排是让约瑟琳寻找类星体。不过，让人们更难理解的是，获奖名单中为什么没有约瑟琳·贝尔·伯奈尔的名字？我问约瑟琳，她是否认为休伊什应该做点儿什么，她的回答中没有任何怨言：“如果获奖的人是你，你也不需要解释你为什么能够获得这个奖项。”她接着补充道，这对她来说未必是坏事，她后来因此获得了几乎所有的奖励、勋章、荣誉和嘉奖。她的意思似乎是说，她得到了相当多的补偿。苏珊·约瑟琳·贝尔·伯奈尔女爵获得的荣誉和奖励有：英国爵级司令勋章、皇家天文学会主席、苏格兰爱丁堡皇家天文台高级研究员、英国皇家学会会员，以及多个重要勋章和几十个荣誉博士头衔等。

在这场理论界的辩论中，脉冲星旗帜鲜明地表明了它们的立场。人们已经在银河系中与我们相距几百光年的位置，发现了像灯塔一样发出耀眼光芒的中子星。50年来，人们一直在思考引力坍缩的终极状态，惠勒当年也认为这是一个极其重要的问题。如今，这个问题把天文学家们带到了这个重要抉择的面前。脉冲星是可以证明中子星真实存在的第一个证据。如果中子星是恒星引力坍缩的产物，那么黑洞有可能同样如此。爱因斯坦认为黑洞（“黑洞”这个名称当时还没有出现）这个答案具

有一定的数学价值，但是在适用性上还有诸多限制，因为恒星物质对这种灾难性坍缩具有抵制作用。不过，核武器的设计者们却得出了一种与爱因斯坦不同的结论。如果在死亡的过程中，恒星留下的残骸质量足够大，那么这些残骸必然无法摆脱坍缩的命运。在变成中子星后，还会发生爆炸，然后继续坍缩，直至变成黑洞。但是，理论上的对峙往往无法通过直接观察等方式予以彻底解决。约瑟琳·贝尔·伯奈尔发现了中子星存在的证据，这个发现本身就具有令人着迷的魅力。此外，它还会让人们产生新的憧憬，即证明黑洞存在的憧憬。（据说，一位德高望重的同行在1970年国际天文学联合大会期间找到约瑟琳，并大声对她说："贝尔小姐，你完成了20世纪最伟大的天文发现！"）

尽管脉冲星的发现使黑洞的存在显得更加可信，但在得到广泛认同之前，人们可能还需要用几十年的时间，通过观察耐心地收集数据。在天鹅座中，就存在一个天体物理学意义上的黑洞。与其他所有星座一样，天鹅座中恒星的位置也具有随意性，位于星座边缘位置上的不同恒星与地球之间的距离可能会彼此相差几千光年。但是，如果以天幕投影的方式对天鹅座进行模拟，这些恒星就会让人形成它们同在一个平面上的错觉。托勒密在观察这些恒星时发现，它们的排列碰巧具有某种特点，用线条连接之后构成的简单图案看上去就像一只"天鹅"。

我们根据星座的名称，把这个黑洞称为"天鹅座X–1"。这个简单明了的代号表明了黑洞所在的方位以及发现过程的类型与特点，这是因为天文学领域的命名必须遵循信息直接明了的原则。"天鹅座X–1"是一个双黑洞，也就是说，这颗死亡恒星并不孤单，有一颗活跃的蓝超巨星与它为伴。双黑洞释放出大量的高能X射线，这些X射线的能量足以穿透你体内柔软的组织，但不足以穿透你的骨骼。因此，借助从"天鹅座X–1"黑洞释放出来的光，你可以拍摄一张显示你全身骨骼结构的X线片。

天鹅座里的黑洞是在1964年被发现的，它可能是人类有史以来发现的第一个黑洞。但是，关于引力坍缩是否会引发如此彻底的灾难性后果这个问题，人们的争论一直持续到20世纪70年代。甚至到了20世纪90年代，仍然有少数人持有不同看法。在与这个黑洞相距不远的位置，一颗质量大约是太阳质量30倍的蓝超巨星正在沿轨道运行。这颗蓝超巨星的大气层被恒星风向黑洞吹去，黑洞正在慢慢地吞噬它的伴星，在这个过程中，从超巨星上脱离的物质吸收热量，温度可升高到数百万摄氏度。温度升高后，这些脱离物质就会发射出X射线，黑洞周围的区域会

发出明亮的光。

事实上，这个双星系统距离太阳系大约6　000光年，它们的物理位置据称与天鹅星座中其他恒星的分布并无关联。每过5天，黑洞与蓝超巨星就会沿轨道运行一周。

某些过分谨慎的天文学家可能仍然会把“天鹅座X–1”中的致密星体称作“假定存在的黑洞”、“宣称存在的黑洞”或“猜测存在的黑洞”。就像我们无法观察到弯曲时空对物质的作用一样，我们也无法观察到黑洞。因此，我们只能推测，在从蓝超巨星上脱离的高温物质的中心有一个天体，这个天体的质量非常大（至少是太阳质量的15倍），体积却非常小（直径约为88千米），这样的天体只能是一个黑洞。诚然，如此谨慎的天文观察者为数不多，但是他们坚持认为我们从来没有发现黑洞。

休伊什与约瑟琳·贝尔·伯奈尔着手研究的类似恒星射电源（后来，人们发现它们明显是河外射电源，因此给它们改名为“类星体”）看上去又小又亮，就像天空中的星星，但却散布于银河系外。这些类星体并不在银河系内，事实上，它们与我们的距离大约为10亿光年甚至更远。这说明它们非常古老，因为它们的光传播到地球上需要几十亿年的时间。另外，这些类星体非常罕见，这说明宇宙“制造”类星体的速度没有以前那么快。

类星体的能量源自古老星系中心的黑洞，它们发出明亮的光，因此我们在距离它们非常远的地球上也可以观测到它们。质量是太阳质量的几百万或者几十亿倍的特大黑洞（包括假定存在、猜测存在和宣称存在的黑洞），可以将星系中的“浮木”，包括完整的恒星、气体与残骸、星系核中的“长期居民”和在庞大星系中四处游弋的“蜉蝣”，全部吞噬之后喷射出高速的火焰般的喷流，长达几百万光年。20世纪60年代，人类在地球上第一次观察到宇宙发出的这种信号。当时，人们根本不知道是何方神圣完成了这类壮举。

类星体是一种活跃的星系核，所有的能量都来自超大质量黑洞。这些活跃的星系核密度极大，相当于把10亿个太阳的质量集中在一个与太阳系大小相仿的区域中。在星系核周围，可能有数万个小型黑洞、其他死星及一些活跃恒星在沿轨道绕行。超大质量黑洞可能源于死亡恒星，也可能源于质量与恒星相仿的黑洞相互碰撞、合并形成的巨大星系核。

我们对宇宙的所有认识，包括宇宙的样子、宇宙中的居民、宇宙的历史、宇宙的形态结构等，几乎都来源于天文学家的观察与物理学家的实验。这些科学家依据的主要办法就是采集从宇宙起源后不久直至今天的所有天文现象发射的光（光几乎是他们关注的唯一事物，尽管有时候他们也会采集某些粒子）。科学家通过研究各种光的颜色、强度、方向和变化情况，分析其中隐含的信息，目的是绘制一幅宇宙详图。这幅地图涵盖在各个方向上与地球的距离超过450亿光年的天体，以及近140亿年以来的宇宙信息。在我们视线所及的茫茫宇宙中，我最希望探索的是无尽的黑暗、空无一物的真空地带，以及无边无际的时空。

黑洞的本质就在于它的黑暗，这是它名副其实的特征。在黑暗的天空中，黑洞就是一团漆黑；在明亮的天空中，黑洞就是一团暗影。望远镜从来没有捕捉到蒙在面纱之下的黑洞的真面目。由于我们对太阳系以外的认识几乎全部得益于光这个信使，而黑洞却躲在足以吞噬一切的黑暗之中，因此我们几乎不可能观察到它们，但并不是完全不可能。

我们可以观察到黑洞吞噬伴星的证据；我们可以观察到超大质量黑洞存在于星系中心的证据，因为沿轨道运行的恒星可以标记出它们的位置，尽管它们本身一团漆黑、难以观察；我们可以观察到长达几百万光年的黑洞喷流证据，因为即使在视线尽头的遥远星系上也可以看见这些喷流。但是，迄今为止，我们还没有亲眼看见黑洞。因此，如果真的能听到黑洞发出的声音，这样的前景的确令人激动不已。

宇宙中肯定存在我们永远也无法看到的黑洞。它们要么孑然一身，要么绕着另一个黑洞运转。任何天体，无论多么明亮，都无法与它们靠得太近。我们也无法描绘它们的轮廓，至少目前做不到。但是，如果黑洞碰撞，就会发生时空弯曲，形成波，并以光速传播，让我们有可能听到时空振荡的声音。如果引力波探测器取得成功，可以将时空振荡声与噪声区分开来，我们就可以记录：恒星在坍缩之前最后几秒钟发出的爆炸声，中子星旋转时表面隆起扭曲时空发出的声音，中子星碰撞的声音，中子星碰撞并形成黑洞的声音。此外，我们还可以记录黑洞碰撞从而形成质量更大的黑洞时发出的声音，在这个过程中，会有10^{45}瓦的能量以引力辐射的形式向外传递。

自视为“引力辐射信徒”，赫尔斯–泰勒脉冲星的发现深深地激起了约瑟琳·贝尔·伯奈尔的兴趣。1993年，拉塞尔·艾伦·赫尔斯与约瑟夫·胡顿·泰勒因为探测并证实引力波的存在而共同获得诺贝尔物理学奖，尽管他们

是通过推理的方式间接完成了这项证明工作。赫尔斯与泰勒历时数年，对一个编号为PSR　B1913＋16系统的运行轨道进行了详细观察。（编号中的“PSR”代表脉冲星，数字表示天体在太空中的赤经和赤纬。）他们观察发现，在2.1万光年之外，有一颗死亡的致密恒星，即中子星，以每秒17次的频率向地球发射射频脉冲信号。这颗中子星就是一个巨大的磁体。它将射频脉冲信号变成细细的束流，在自旋的同时，像灯塔一样将这些射频信号发射出去。也就是说，这是一颗脉冲星。通过精细测算脉冲信号的频率变化，赫尔斯和泰勒推断这颗脉冲星正在绕另一颗不那么显眼的中子星运转，轨道周期为7.75个小时。接下来，他们通过观察发现脉冲星的轨道正在发生微弱的衰变，运转一周所需时间每年会减少76.5微秒。他们做出推断，轨道衰变肯定是由能量损失造成的。

能量损失是爱因斯坦相对论的预测结果之一。沿轨道运行的中子星拖拽着周围的弯曲时空一起运动，同时将能量传递到时空的涟漪中。简言之，损失的能量被引力波（也就是时空的“声音”）传递出去了。在这次幸运的观察活动中，理论与实验实现了完美的结合。

大约3亿年后，这个双星系统将会因为被引力波带走足够多的能量而发生碰撞。如果到那时人类仍然存在，并且还在利用地面天文台观察宇宙（我们有足够的理由认为，这样的设想非常荒谬，真的出现这一幕的可能性非常小），那么从理论上讲，这个双星系统在最后几个小时里发生的情况就会被某个类似于LIGO的天文台探测到。但在最后的时刻到来之前，这个双星系统产生的引力波都非常微弱，在地球上无法探测到。我们对成功地探测到赫尔斯–泰勒中子星不抱任何奢望，而是会努力搜寻正在发生碰撞的中子星和黑洞组合。在它们共同存在的最后几分钟时间里，碰撞发出的声音足够响亮，以至于我们可以在与其相隔数亿光年甚至更远距离的地球上，通过机器捕捉到这些声音。我们可以观察到银河系内的中子星，但是，如果相距数百万光年，这些中子星看上去必然会非常暗淡，不可能被观察到。与之相比，赫尔斯–泰勒中子星与我们的距离仅为2.1万光年，并且处在银河系内。在大多数致密星体发生碰撞之前，天文学家无法用望远镜拍摄它们的照片。所以，我们只能先捕捉它们发出的声音。

我们不能宣称，通过直接观察，我们发现赫尔斯–泰勒脉冲星产生的引力波携带了能量。我们只能说，通过直接推演，我们认为引力波肯定携带了能量，只有这样，脉冲星轨道正在逐渐衰变的预测结果才能得

到完美的解释。这个推演结果很有可能是正确的，可信度非常高！

---

[1] 1英尺≈0.3米。——编者注

第9章
实验室里的开拓者

Weber and Trimble

就在约瑟夫·韦伯形单影只地躲在树丛中，守着他的那些准备移交的设施时，LIGO项目组从美国国家科学基金会获得了数额不小的支持资金。就在韦伯亲手维护他的韦伯棒时，加州理工学院和麻省理工学院携手建造出必需的设备，并且制定了长期战略。在韦伯收集第20年的实验数据，准备为自己备受嘲讽的研究成果进行辩解的时候，各大报刊纷纷在显眼位置报道一个金属机箱，并且评价它即将开启实验科学的新纪元，而韦伯却无缘参与其中。

基普是在20世纪60年代中叶结识约瑟夫·韦伯的，当时韦伯还没有宣布他的那项备受争议的研究成果。约翰·惠勒对韦伯很感兴趣，这也是基普找到韦伯的原因。那时候，韦伯的脾气还不是那么暴躁。他们经常一起前往阿尔卑斯山脉做徒步旅行。从某种意义上讲，他们俩是好朋友。

我问基普：“韦伯喜欢与人争论吗？”

基普笑了：“不，因为没有人与他争论。”

“我感觉他有猜忌心。”我说。

基普点点头，“是的，他的猜忌心很重。这是一个比较麻烦的问题。”

我说：“有时候纯粹是乱猜疑，有时候是真的存在问题，都搅在一起了。”

基普表示同意："是啊，都搅在一起了。不过，这也是人之常情。"

1982年，他们俩在韦伯的办公室有过一番对话，基普还做了记录。此时，韦伯应该已经知道加州理工学院正准备研究一项名叫激光干涉仪的新技术，而且他将再次被排除在外。基普说道："最令人遗憾的是，韦伯的研究备受尊重，但是他本人似乎从来没有意识到这一点。"

我打开加州理工学院的档案材料，倾听基普与约瑟夫·韦伯的那次谈话录音。这些材料被收存在一栋设计风格过于自信的建筑之中。地下室的大部分空间都被各个实验室占据了，以致档案室显得格格不入。除了磁带录音机的"咔嗒"启动声，屋子里一片寂静。我推测，录音是在马里兰大学的韦伯的办公室录制的。据一些剪报的描述，这间办公室就像堆满废旧纸张的仓库。我可以想象出韦伯办公室的样子：杂乱无章的布置，普通的金属文件柜，胡乱堆放的纸张。我竖起耳朵听韦伯说了些什么，我不确定他当时是不是在房间里踱着步。韦伯说，谈话当天，也就是1982年7月20日，是他一个哥哥的生日，韦伯有三个哥哥。就这样，这种老套的开场白为他们的对话拉开了帷幕。

韦伯介绍了自己的职业生涯。他就像一名受到犯罪指控的无辜者，正在重复那一套讲过无数遍以致烂熟于心的说辞。偶尔他会停下来，对导致自己身处困境的原因做一番解释。他还把这些年来收集的证据一股脑儿地说给基普听，仿佛在为自己进行辩护，尽管基普并没有参与这些指控。在接近一个小时的对话过程中，韦伯不停地核实日期，引述报告和出版物的内容，详细说明技术细节，为自己的实验结果提供证据。其间，因为需要在办公室里找文件，录音还暂停了几次。

面对这个在职业生涯中备受争议的人物，基普小心翼翼地说道："你曾经说过，你之所以从事引力波研究，原因之一在于你认为这个领域不会引发争议……"或许是受到这个话题的刺激，韦伯的失望之情瞬间消失，取而代之的是一股喷薄而出的怨气。在失望时，韦伯看上去十分沮丧。但是，一旦受到挑战，韦伯的斗志就会被激发起来。

韦伯说道："1981年5月15日，《科学》杂志用了整整一个版面来谴责我，还说加尔文是远胜于我的科研人员。加尔文的确完成了一些非常重要的引力辐射研究，也彻底推翻了我的研究成果……但问题是，我现在从事的物理学研究是我有生以来最重要的物理学研究……我没有四处宣扬，最主要的原因是不希望受到辱骂……事实上，我是想引诱这群贪

婪的家伙，丢一块肉给他们，让他们无所留恋地去从事其他领域的研究。结果……结果……太令人生气了。当然，我的健康没有受到影响，但是事态的发展真让我感到遗憾。我的家人受到了伤害，这太不公平了。”

韦伯拿着那篇文章找到了一名家庭律师。律师建议他诉诸法律手段，并且说他可以得到1 000万美元的赔偿，但他需要花至少5年的时间来打这场官司。在法庭上花费这么多的时间，这是韦伯无法接受的。他说：“这是生活态度问题。”

接着，韦伯又说道：“一方面，马里兰大学的系主任要求我两个星期后辞职离开；另一方面，理查德·加尔文给加州大学的管理层写了一封信。”（为了与妻子特林布尔教授生活在一起，韦伯在加州大学欧文分校找了一份兼职工作。）“加州大学副校长给我打了一个电话，告诉我他收到了加尔文的那封信，给了我两周时间，然后就会解雇我。这两所大学都没有让我立刻走人。但是，这个结果实在让人生气！

“让我无法理解的是，同行们都妒火中烧，恨我入骨。可惜啊，他们白费劲儿了。我活得好好的。路德维希·玻尔兹曼因为不堪忍受这种待遇而选择自杀，我不会这样做，我从未想过自杀。我只是不知道，他们这样做有什么意义。”

基普说：“韦伯，我真希望能好好整理这些记录，好好履行我的历史责任。我过去是这样做的，现在也会这样做。（韦伯发出了一些含糊的声音，不知道是不屑一顾还是心怀感激。）我无比尊重你做出的贡献，你开创了一个新领域，你找到了一个新的研究方向，至今人们还在朝着这个方向努力。你的这些贡献本身就能说明问题。”

韦伯说：“今天仍然不时地有人站出来，卷起衣袖，加入到这场‘口水战’之中……他们或许不会解雇我……从事科研的首要原因应该是你喜欢这项工作，否则你就不应该干这一行。坦白说，我喜欢搞科研。”

基普说：“我完全同意这个观点。”

韦伯说：“那就再好不过了。”

发泄了怒火之后，韦伯的心情有所好转，他邀请基普参观他的实验室，还列举了一堆值得一看的东西。“不说这些了，我带你四处看看吧。

我告诉你，我有许多好东西。我有一个可以全面投入运行的……”

磁带听完了，我把它还给了加州理工学院的档案管理员。我从图书馆的木房子里走出来，穿过迷宫般的实验室，向简陋的入口处走去，然后乘坐一台装修用的升降梯，离开了地下室。随后，我一边感受着帕萨迪纳温暖的天气，一边沿着小路去找基普。

在基普准备离开时，我问他：“你知道弗里曼·戴森的那封信吗？”

“哪封信？”

“是一封难以想象的信。弗里曼觉得自己应该鼓励韦伯，就给韦伯写了一封信，让韦伯放松心情。”

基普显得非常吃惊，然后笑着说道：“他肯定是一个非常……非常乐观的家伙。”

那封信的内容是：

亲爱的韦伯：

看到我们的希望毁于一旦，我感到既害怕又痛苦。我觉得我要为此负相当大的责任，因为我曾经建议你要“敢于冒险”。现在，虽然你时运不济，但我仍然认为你是一个伟大的人物。同时，为了尽可能地弥补我的过错，我要再次向你建言。

伟大的人物敢于公开承认错误，并改正错误。我深信，作为一个诚实正直的人，你一定能勇于承认自己的错误。承认自己的过错，固然会让敌人志得意满，但更会让我们的朋友欢欣鼓舞。承认过错，你仍然可以从事科学研究，而且你会发现，那些值得尊敬的人将会因此向你表示敬意。

我想你已经明白我的意思了，我就不再多说了。无论你做出什么决定，我都会一如既往地支持你。

祝万事如意！

你永远的朋友

弗里曼

1975年6月5日

2000年冬，因为路面结冰，约瑟夫·韦伯在马里兰大学引力波观测站门前滑倒了。这个观测站无人值班，但韦伯却习惯去那里做一些不适合一个81岁老人干的体力活儿。韦伯觉得将车开进观测站后很难开出，因此他把车停在山顶，步行前往观测站。两天之后，人们才发现他。韦伯摔断了几根骨头，其中一根肋骨扎进了胸部，导致淋巴瘤；骨头和肺部的创伤也一直没有愈合。8个月之后的2001年9月30日，约瑟夫·韦伯的妻子维吉尼亚·特林布尔接到了医院打来的电话。当时还是午夜，这为她起草讣告并刊发到当天的《美国天文学会通告》（*Bulletin of the American Astronomical Society*）上留下了足够的时间。

早在她的丈夫去世之前，维吉尼亚·特林布尔就已经决定不再浪费精力为韦伯正名了。在加州大学欧文分校的校园里，特林布尔告诉我："科学研究是一个自我修正的过程，但是它的周期可能会超过人的生命周期。"这句话显然是正确的。她接着说道，韦伯生前认为他确实探测到了某些异常现象，但是他不确定那些现象是不是引力波。即使到了现在，她也认为韦伯没有错。所有的质疑都有一个问题：没有人能提供一个严格意义上的"副本"，也就是用一模一样的机器在相同的时间里记录的数据，然后完成名副其实的比较。

"韦伯认为，没有人毫厘不差地重复他的实验，因此宣布他的实验结果无法证实的那些人并不是百分之百的诚实可靠。重复程度最高的两个团队（一个是日本团队，还有一个是爱德华多·阿玛尔迪生前领导的罗马团队），的确得到了与马里兰大学实验室相似的观察结果。SN 1987A爆发（1987年的超新星爆发，由于距离非常近，肉眼可以观察到）时，甚至还有两篇论文报告了罗马团队与马里兰大学实验室同时有所发现的事实。刚开始时，弗拉基米尔·布拉金斯基在1971年7月哥本哈根会议之前给韦伯寄了一张明信片，称他已经证实了韦伯的实验结果。结果，布拉金斯基没有拿到出国签证，未能前往哥本哈根。他那张明信片的意思可能是'我完成了重复实验'。不过后来，布拉金斯基改口了。2012年12月，我在巴西圣保罗参加一次研讨会时，在演讲过程中展示了那张明信片。但是，投影设备展示的是明信片正面的图片，而且上下颠倒了。"

那是一张有节日气氛的明信片，背面有好几个邮戳，还有布拉金斯基手写的几行字：

亲爱的韦伯教授：

祝您新年快乐！希望能与您在丹麦会面，因为我想当面告诉您，我已经证实了您的实验结果。

特林布尔认为，“证实了您的实验结果”很可能是指“我完成了重复实验”。（可是随后不久，布拉金斯基发表了否定性的实验结果，导致他与约瑟夫·韦伯发生了“非常严重的口角”。）我无法确定那张明信片的寄送日期，但是特林布尔根据那次丹麦会议的时间推断说：“应该是1971年。当时，我还不认识他们两个人。”

为了还原历史，基普回忆说他清楚地记得布拉金斯基参加了那次会议，并且肯定布拉金斯基拿到了出国签证。会议期间还发生了一个小插曲。为了抗议针对苏联的不利言论，整个苏联代表团中途退出会议。在基普的请求之下，布拉金斯基回到会场做了发言，后来他还因为这次发言受到谴责。

1972年3月，约瑟夫·韦伯与维吉尼亚·特林布尔结婚。婚后，他们对彼此的称呼是“韦伯”和“特林布尔”。特林布尔笑着说道：“韦伯意志坚定，当断则断。”比她大23岁的韦伯总是告诉她想干什么就干什么，需要干什么就干什么。韦伯的第一任妻子艾妮塔是一名物理学家，为了抚养4个儿子，她请了一个长假。可能是受她的影响，恢复单身的韦伯从来不对特林布尔的工作、追求独立的个性以及她的智商指手画脚。[特林布尔的智商非常高，《生活》杂志某一期（以现在的标准看，那期杂志的封面堪称经典）刊登过一篇文章，以“娇美容貌背后的180分高智商”为题，介绍了这名学习天文学的18岁女学生。文章说，特林布尔把约会过的男性分为三个类型：“第一类是比我聪明的，第二类是自认为比我聪明的，第三类是无所谓聪明与否的。第一类人我遇到过一两个，第二类人则比比皆是。”]

由于对一段趋于冷淡的感情感到失望，维吉尼亚发誓，如果有人向她求婚，她就嫁给那个人。至于前一个约会对象，她也给了他一次机会。特林布尔给那位约会对象写了一封信，告诉他：“我准备嫁给约瑟夫·韦伯了。如果你想阻止我，就来加利福尼亚找我吧。”后来，她才知道那个约会对象已经去普林斯顿了。这让她又一次感到失望，因为他们相互承诺，只要有旅行计划，就会告诉对方。他没有收到那封信，或许她也希望如此吧。尽管他们的友谊还在，但她却无法鼓起勇气向他了解真相。

就这样，她嫁给了韦伯。“我们俩都对婚姻生活感到满意，在很多方面的观点也很相似，比如，我们都认为早起吃一顿丰盛的早餐有益于身体健康。”

一天傍晚，韦伯拿出一些蜡烛和火柴，看特林布尔是否知道如何祷告，结果发现她竟然会唱一些不知名的赞美诗。之后，一些有见识的人找她聊天，几名女性陪她完成了浸礼，在通过一个口头测试后，她成了一名犹太教徒。尽管韦伯和特林布尔都公开宣称自己是无神论者，但韦伯还是很自豪地告诉别人他娶了一名忠诚的犹太教徒。直至今日，特林布尔仍然遵守教义。在我们交谈的那一天，她满是期待地告诉我，她接到了在犹太教徒聚会上唱赞美诗的邀请。

他们两个人都感受到了生活的压力。韦伯的父亲是一名木匠，恪守工会的规定，不是工会安排的工作，他一概不接受。看到家里的家具被搬到屋外的草坪上，全家人就知道父亲肯定没有按时偿还抵押贷款。特林布尔说，如果回家后看到父亲的车停在门前的车道上，就知道父亲又被开除了。“他有深厚的化学知识，但是不善于经营。”

特林布尔主动告诉我：“我遇到的障碍一个个都被清除了。”由于她得到了伍德罗·威尔逊基金会的资助，因此加州理工学院向她敞开了大门。她在自然科学方面有一些想法，但这并不影响她在象形文字和考古学等领域学有所成，她的导师、著名天文学家乔治·阿贝尔甚至还提议将一项依惯例专属文科生的奖学金颁发给她。特林布尔拍过广告片，为影视作品配过音，并因此赚了一些小钱。作为电视剧《阴阳魔界》（*The Twilight Zone*）的形象代言人，她奔波于各大城市，出席各种宣传活动。她的天文学知识也非常扎实。帕洛马山天文台最初并不允许女性使用他们的设备，但是薇拉·鲁宾打破了这一禁忌，为维吉尼亚·特林布尔次年使用该天文台的设备铺平了道路。大学三年级时，特林布尔凭借坚毅的品质获得了美国国家科学基金会的奖学金（她怀疑，这种坚毅的品质主要表现为她仍然未婚）。刚来到加州理工学院时，她非常高兴，“我当时想，‘瞧，这里有这么多的帅男孩。’”如今，年过70的特林布尔容光焕发，穿着珊瑚红的连衣裙和同色鞋子，涂着口红，戴着月亮形状的耳环、兽首金戒指。她的容貌依然美丽，智商依然高达180分。

她的坦诚令我感到惊讶：“嗯，我想我们俩都有一点儿亚斯伯格综合征，举止行为都有点儿奇怪。韦伯常常对我说：‘娶你为妻是我今生最大的幸福。’我从来没有向他寻求帮助。2012年9月，我在公寓里摔了一

跤，髋关节骨折，直到4天之后才被人发现。这4天里，我一直在唱歌、背诵诗歌。我不愿意想象韦伯在冰面上滑倒之后是如何挨过那两天的，我不喜欢寒冷的天气。但是，我当时确实想过：‘如果韦伯在我身边，就不会发生这样的事情了。’”

“韦伯有没有考虑过加入LIGO项目组？”

“没有人邀请他。即使有人邀请，我也不知道他会怎么回答。”

“LIGO项目成功地获得资金支持之后，韦伯有没有感到失落？”

“没有，他只是觉得不公正。他一直非常乐观豁达，否则我也不会嫁给他。他手下的工作人员都觉得他富有人格魅力，助手们都爱戴他。

“他把自己的不幸遭遇变成了一个个故事。第二次世界大战期间，他曾经与‘死神’擦肩而过。当时，他所在的那艘航母沉没了，岸上有只猴子扔给他几个椰子，他才得以幸存。

“韦伯经常说，他开创了三大实验领域：量子电子学、引力辐射和中微子探测。”（在这里，我要稍加说明。量子电子学已经被证明是一个重要的自然学科，如果重新考虑韦伯的功劳，他甚至有可能因此获得诺贝尔奖。引力辐射这个领域仍然具有争议性，中微子探测领域的争议性更大，已经快到令人绝望的地步了。）接着，特林布尔又表达了一个没有争议的观点，也是让韦伯名垂青史的一大功绩：“韦伯的目标是把爱因斯坦方程式搬进实验室，他觉得自己成功了，我也这样认为。”

第10章
汉福德天文台

LHO

2000年前后建造的第一代LIGO探测器没有探测到来自宇宙的任何声音。这些机器证明这项伟大技术有可能实现，但是由于灵敏性不够，它们无法探测到引力波。又或者，宇宙中可能根本没有这种声音。让我们把所有的疑虑都抛在脑后，我们已经爬到了顶峰。这个顶峰既指我们所在的位置，也指未来的某个时间，即高新激光干涉仪全面投入使用的那一刻。在攀爬的过程中，我们先失去了韦伯，然后是罗纳德·德雷弗。但是，探索队伍还在不断壮大。无论谁离开了，都有人及时补上，攀上顶峰的使命没有受到任何影响。探索者们意气风发、昂首挺胸，朝着目标不断迈进。

汉福德LIGO探测器位于华盛顿州东南部一个归政府所有的偏僻保护区，与它相邻的是汉福德核工厂——全世界第一个核反应堆所在地。“二战”的最后一年，约翰·惠勒就是在这里完成反应堆的设计工作的。由钚分离设施提取的放射元素被用于制造“胖子”，它是由飞机投放的第二颗，也是（迄今为止）最后一颗原子弹。1943年，被列入保密范围的曼哈顿计划将部分工作人员安置到这里，与此同时，美国陆军部把近600平方英里[1]区域里的居民（强行）迁走，使得这片本就人烟稀少的土地变成了不毛之地。从20世纪80年代起，汉福德场区就成了核武器制造中心、核废物填埋场。

总的来说，这就是一片闲置不用、没有农林价值的准沙漠。准确地说，它应该是干草原，尽管雨水稀少，植被却比真正的沙漠要多。一簇簇的多年生草本植物使人联想到打理不善的贫瘠农田。放眼望去，平坦

的土地上几乎空无一物，只有一些核反应堆孤零零地矗立在地平线上。从冷却塔排放出来的烟雾（虽然与原子弹的蘑菇云同源，但不会令人望而生畏）融入积云之中，为对人畜无害的气象云图增添了几分卡通效果。

几英里外的几幢低矮建筑就是特别设计的LIGO实验室。这些几乎通体白色的新建筑采取的是平板结构，与LIGO实验室外围的那些核反应堆形成鲜明的对比。整修过的地面铺有从其他地方运来的鹅卵石，几丛精心修剪的翠绿色灌木点缀其间，仿佛人工搭建的微型电影布景，尽管还是半成品，但也能看出是精心构思的产物。

我到得很早，以便前往控制室参加每天上午8:30举行的例会。负责高新探测器组装工作的迈克尔·兰德里漫不经心地听着其他人的进度报告。屋子里摆放着两列三排电脑显示器，在数量略少于显示器的桌子旁懒洋洋地坐着大约20个人。有一个家伙的身体正随着他屁股下面的大的健身球上下起伏。会议简短有效，最后迈克尔宣布："工作时注意安全。散会。"他说话的语气严肃认真，但显然是老生常谈。

正常工作时间里，在控制室里四处走动和进出实验室的人大多穿着医用防护服。但是，我觉得他们的防护服似乎颜色更深。根据新的规定，这些防护服还要有防污染的作用。我也不愿意联想到医院，两者之间并没有多少相似之处，但是控制室的两面相对的墙上分别装有6台和7台显示器，上面显示了探测器的各种指标，在有危险时还会发出报警声，这种情形与医院确有几分相似。探测器的内部安装了大量的摄像头和传感器，分布在不同的位置。控制室里随时都有人，操作人员每8个小时一班。在研究期间，探测器必须处于锁定状态，也就是说反射镜之间的距离是固定的，只允许有微小位移。一旦发生位移，一个复杂的反馈回路就会将它们调整到正确的位置上，这与恒温器让房间温度保持稳定的情形有些相似。探测器测算并纠正反射镜发生的微小位移，同时记录所采用的恢复措施。一旦取消探测器的锁定状态，警报就会响起，显示器会同时闪烁黄色或红色信号。有时，喜欢恶作剧的人还会修改警报的声音。

说到控制室的半自动化，所有人都会露出一丝得意的笑容。控制室里的操作人员承认，这套半自动化程序有点儿妖术的味道，而且比时好时坏、需要经常拍打的电视机更神秘，确实算得上妖术。很多人说到这个词的时候，他们的视线游移不定，同时嘴角露出一丝得意的笑。我觉

得他们说的是真心话，而不是提醒我加以注意。有时候，这台机器操作起来还是相当有难度的，通过图形用户界面学习如何操作需要几个月的时间。等到高新探测器组装完毕后，信号读出通道将增加至20万个，控制回路可达到350个。试想，谁可以娴熟地控制如此复杂的机器和激光在管道里的传播呢？

如果是大风天气，或者汉福德场区外面的道路上有大量自卸货车驶过，探测器可能根本就没有办法恢复锁定状态。夜间，操控探测器的工作要简单一些，足以容纳上百人的控制室里只剩下少数操控机器的操作人员。通过与几名操作人员（他们大多是本地人，而不是来自学术界的专业人员）交谈并观察他们的行动，我发现他们在晚上不是很忙碌。

控制室里大约有20个人。他们穿着深蓝色防护服，一面做出一副沉思或者懊恼的样子，一面用扳手和螺丝刀轻轻敲打自己的脑袋。这么多人聚在一起思考显示器上的数据，很像一群正在探讨疑难杂症的医生。

位置偏僻、任务前景模糊，这些特点显然对培养友谊有促进作用。人们背对着打开的门，面前是显示器和两个超大的数字时钟——一个显示本地时间，另一个显示格林尼治标准时间。他们不时讲一些无伤大雅的笑话，或者大声问一些任何人都可以回答的问题。我走出控制室，朝实验室走去。

我知道，与控制室一墙之隔的是实验室的机库——激光与真空设备区。加州理工实验室可以用像拖车一样的附楼安放40米原型机，但是这台全尺寸探测器是不可能放到室内的。激光与真空设备区大约占地3万平方英尺[2]，仅能容纳探测器最顶端的一小部分。墙的外面有两根直径为1.2米、长度为4　100米的管道穿过实验室，向干草原的西北方向延伸。由于管壁的厚度仅为3毫米，因此需要用加固环来增加结构的稳定性。管道外面有混凝土防护罩，旁边是一条便道，一直通向管道终端的几间小实验室。

LIGO控制室的双开式弹簧门后面的这两根管道在地球上构建了两个很大的真空环境，其真空的程度比含有极少量星系际介质的星系间的真空区更高。地球上这两个最大的真空区中的物质含量，甚至不到宇宙中某些真空区物质含量的1/8。（但是，它的“干净”程度仍然比不上宇宙中最“干净”的真空区。）

科研人员设计的这个真空系统不仅成本低廉，而且气势恢宏，令人叹为观止。尽管地球上有的真空区更加干净，但是它们体积都比不上LIGO探测器的这两个真空区的总体积。自1998年被抽成真空之后，这两个管道中的压强就再也没有恢复到标准大气压的水平。在升级为高新LIGO探测器时，所有零部件都被更换了，这两个管道却保留下来。在整个实验期间，这两个管道都必须保持真空状态，否则整个实验就彻底失败了。迈克尔·兰德里说："那样的话，我们都要灰溜溜地回家。"

一次，核设施安保组的一名监察员在凌晨3点走进来，问LIGO实验室里的人："你们听到那个声音了吗？"迈克尔开车沿便道一路查看情况，结果发现是一辆货车撞上了其中一条干涉臂的防护外罩。根据美国联邦政府的授权，在汉福德场区巡逻的安保人员可以携带攻击性武器，他们都是人高马大的壮汉，携带的武器装备令人望而生畏。其中有一部分人特别喜欢在黑暗中超速驾驶，尽管他们对这里的地形并不太了解。肇事的这名保安当时以每小时50英里的速度驰骋在点缀有灌木丛的平原上，结果一头撞上一条干涉臂，导致一只胳膊骨折，还断了一根肋骨。

这次碰撞并没有损伤真空管道的管壁，但也不能排除这种可能。可以想象，一美元硬币大小的孔可能只会对实验造成威胁，导致实验彻底失败；但是足够大的孔就有可能造成致命威胁，后果可能与太空舱出现破洞差不多。

即使没有发生碰撞事故，汽车对于真空管道而言也是有百害而无一利。LIGO探测器对地震极其敏感，其本身就相当于一个大型地震仪。当货车沿便道驶过时，探测器就会有反应。一直以来，空气中的声音都是一个麻烦，数据分析人员曾经发现一种与本地机场飞机起落时间有关的噪声。

太阳和月亮会导致反射镜发生晃动，需要借助磁场让它们回到基准位置。此外，还需要使用地震仪和液压随动系统来探测地球的局部运动，以补偿反射镜发生的位移。所有这些措施都会产生各种形式的噪声，需要与真实信号区分开。通过监测探测器发出的原始声音，我们就可以识别出天体的潮汐力，地球在静止状态下发出的声音，以及元素的余热、量子振动和激光压力。

探测器的反射镜非常漂亮，它们通体透明，肉眼几乎看不见。这些反射镜对可见光的反射效果极差，因为反射激光是它们唯一的效用。反

射镜的生产被外包给专业的公司，制成后又被送到世界各地接受各种后续加工，包括80个涂层的处理，使这些本来就非常优质的镜子对激光的反射率高达99.999%。

如果用螺栓将这些重达42千克的反射镜固定到管道天花板上，它们就无法“随波逐流”，在空间发生变化时也无法随之摇摆。于是，实验人员利用超细玻璃纤维将它们悬挂起来。但这样一来，稳定性与敏感性就会产生无法调和的矛盾。玻璃纤维的直径大约是人类头发的两倍，粗暴对待极易导致其断裂，但在纵向拉伸时又坚韧如钢铁。

汉福德探测器的负责人弗雷德·拉布称这套系统是巧妙手段与恐怖结果博弈的产物。如果有1兆瓦激光在反射镜之间往反运动，就会迅速积累大量能量。如果探测器的锁定状态被解除，这1兆瓦激光就会将能量倾泻到光电二极管上。根据设计要求，光电二极管只能吸收少量光子。在一次事故中，光电二极管就被烧坏了。于是，人们设计出可以快速关闭的不锈钢遮光板，以保护光电二极管。在探测器发生的另一次事故中，遮光板迅速关闭，但在激光将积累的能量倾泻到遮光板上之后，它也冒起了青烟，烧焦的材料还飘进了真空管。

之后发生的一起灾难是由地震引起的。探测器的一些小型光学仪器受到影响，系统在试图阻止这些仪器发生位移时失去控制，导致这些光学仪器在几个小时内不停地前后移动。一位操作人员试图让探测器恢复锁定状态，但他在调控入射光束时不小心让激光从玻璃纤维上扫过，致使玻璃纤维的温度迅速升高并熔化。玻璃纤维断了，反射镜掉了下来。这样的事故只发生过两次。后来，他们设计了防震闭锁装置，用防震架将反射镜保护起来，以防类似事故再次发生。根据记录，全球各地发生的地震通常不会对测控器造成灾难性后果。

我和兰德里换好衣服，走进激光与真空设备区，准备近距离观察其中的活动。它是一个10 000级无尘室（每立方英尺[3]的污染物数量最多不超过1万颗）。纽约平均每立方英尺的空间里至少有数量达百万的污染物，包括微生物、粉尘或化合物等。（后来，我在路易斯安那州现场观看了一个讨论增强版无尘室标准的谈话节目。在那个1个小时的节目里，还有人亲自动手，用医用手套、杰富花生酱、异丙醇做了一次演示。）机库里面比较凉爽（汗液也是一种污染物），面积非常大，层高大概是30～40英尺。墙上有轨道，起吊装置就在我们头顶上来回运行。地面轨道上的大写英文单词告诉我们，起吊装置最大承重量是5吨。室

内所有人都戴着安全帽。

机库里的各个工作间必须用坚固的闸阀与真空管道完全隔离开，以便在将室内压强恢复至大气压时含有污染物的空气不会进入真空管道。机库里有一段临时楼梯和走道，站在上面向下看，可以看到那些被称为“露天啤酒花园”的工作间的屋顶。从外观上看，的确名副其实，一个个工作间既像啤酒桶，又像赫伯特·乔治·威尔斯笔下的潜艇。工作间的顶部打开后，在专业吊车工的操作下，整个吊舱都可以放入工作间。放完后，工作间的屋顶会再次封闭（必须密不透气）。抽出室内空气直至室内真空度与干涉臂中相同时，就可以打开闸阀了。

安装工作进行了8周之后，他们打开了路易斯安那州的那台探测器的一个取景器，结果看到玻璃内壁上趴着一只2英寸长的活蜘蛛。对于这两台探测器而言，虫子和老鼠都会招致麻烦。我们在汉福德探测器实验室的那个小房间里试穿防护服时，就看到了一只蜘蛛。迈克尔一边说“对不起了，伙计”，一边踩死了它。几分钟之后，这个终端实验室里的一名正在说话的高级实验人员突然停了下来，目光透过面罩死死地盯着上方的塑料条，然后打死了一只误闯入这台珍贵机器的飞蛾。迈克尔从地板上捡起这只土灰色飞蛾的尸体时，嘴里又咕哝了一句：“对不起了，伙计。”

管道穿墙而过，延伸至几千米外的干旱地带。在真空管道及其防护外罩之间留有空间，人可以沿着管道，从激光与真空设备区一直走到4 000米之外的末端。但是，在雷纳·韦斯发现那里有老鼠、黄蜂、黑寡妇蜘蛛和蛇之前，没有人完成这一“壮举”。黄蜂喜欢吃黑寡妇蜘蛛，它们将中毒之后无法动弹的黑寡妇蜘蛛放进六边形蜂巢里，等到想吃的时候再大快朵颐。黑寡妇蜘蛛的尿液里含有盐酸，会腐蚀不锈钢。真空管道里确实可以看见锈斑。人们从来不会使用不锈钢建造游泳池，因为所有的不锈钢都无法抵挡氯的腐蚀。雷纳说：“黑寡妇蜘蛛需要注意。”但是，经过大量调查之后，他发现：“真正的祸害其实是老鼠。”

雷纳走遍了管道的每一个角落，希望找出问题的症结所在。其实，与华盛顿州的探测器相比，路易斯安那州的情况更加糟糕，真空管道上出现了头发直径的1/9宽的小裂缝（被发现之后已经封堵上了）。工作人员经常告诉我：雷纳进管道了，雷纳在管道里发现了碎玻璃渣儿，雷纳赶走了老鼠、黄蜂或者其他害虫，雷纳又沿着激光管道走了一遍。总之，雷纳习惯于深入现场了解情况。

雷纳让我跟在他后面，看他做一个关于真空管道振动模式的小实验。便道上生长的风滚草必须及时清除，否则就会出问题。干燥的灌木被风连根拔起之后，沿着平地翻滚，最后聚集在管道防护外罩的外面，仿佛是墙上生出的荆棘。为了清理出一条道路，他们把这些干燥的棕色野草收集起来，扎成长方形的干草捆，然后放到这个“微型电影布景”的外围。就像在操作台上与雕塑挨着的那些工艺材料一样，这些干草捆将来有可能发挥某种作用，也有可能被扔掉。这些风滚草，无论是处于生长状态的还是被捆扎成捆的，我都非常喜欢。因为有了它们之后，这片人工的实验场地就变成了一幅自然风景画。

雷纳提醒我：“如果受不了这种气味，一定要告诉我。路易斯安那的气味更难闻，去年我就患上了真菌性肺炎。”干涉臂的混凝土防护外罩上一共有14扇门，打开其中几扇之后，空气就好多了。气味不算特别难闻，但是对雷纳开门换气的举动我仍然心存感激。雷纳说：“我经常沿着管道步行。”真空管是他负责多年的科研项目。管道经常振动，他重重地拍了一下管道，让我聆听那响亮悠长的轰鸣声。由于LIGO项目组要求提高探测器的灵敏度，因此所有地震振动都可以探测到。这些振动一直存在，但在灵敏度较低时，它们的影响没有现在这么大。雷纳不时地请我帮忙，让我握紧钳子、拿着电缆，就像你偶尔也需要孩子的帮助一样。尽管雷纳已经退休，步入耄耋之年，但他总是尽自己的最大努力推进项目。他想，由他来完成这些工作，其他人就无须费时费力考虑这些问题了。因此，他总是在管道边四处巡查，这里拍一拍，那里跺一跺。

我说：“这项工作需要很大的耐心啊。”毫无疑问，这是一个显而易见的事实，但我还是追问道：“你有耐心吗？”雷纳回答说：“没有。你也不是一个有耐心的人啊。”“你怎么知道？”“我当然知道，因为我说话的时候你总是忍不住插嘴。”尽管他没有为此不高兴，但我感到很内疚。他摆摆手，让我不要有任何疑虑：“没关系，别多想。”

我们把一些电缆拧在一起，把一个小型仪器固定到管道附近的一根柱子上，然后我坐进汽车，雷纳则开始监测真空管的振动情况。由于我忘记打开车窗（尽管雷纳提醒过我），汽车在荒野骄阳的炙烤下越来越热。如果我这时候打开车门，门把手和车门都有可能发出声音，导致雷纳的实验彻底失败。于是我决定坐在车里，静静地接受阳光的炙烤。

在那天晚上从汉福德场区驾车往回返的路上，以及我们共同度过的那几天里，雷纳回忆了LIGO项目的早期历史，还向我介绍了20世纪80

年代的三巨头组合。他告诉我，项目的管理结构令人绝望。大家都说罗纳德·德雷弗生来就喜欢独断专权，不愿意相信包括雷纳在内的其他人的判断。尽管如此，这个项目要想取得成功，加州理工学院团队就必须精诚合作。雷纳说："只要项目能取得进展，我愿意做任何事。

"罗纳德很难相处，但那时候，我对罗纳德充满敬意。后来，我对作为科学家的罗纳德有了更深入的了解。我发现他之所以难相处，是因为他考虑问题的方式与其他人不同。他是通过一幅幅图片思考的，到了第二天，他就不记得前一天是怎么考虑的了，因此他无法做到坚决果断。你看他处理问题的过程就会明白。比如，我们讨论探测器的某个问题，他头头是道地跟你分析激光束应该多大，或者反射镜应该有多少面。经过讨论之后，我们同意了他的观点。但是第二天一早，他却说他的观点不对（或者不完全对）。然后，我们不得不重新讨论这个问题。结果得出的结论与前一天的并无区别。这种情况不断重演，以至于我们永远无法下定决心。罗纳德制造的问题比较多，这是其中之一。

"罗纳德经常（对基普）发牢骚：'瞧，是你把我骗到这里来的。我本以为你们会为我准备好一切的，但是现在我什么都没有。我和韦斯的关系十分糟糕，麻省理工学院的那些人恨不能把我生吞活剥。'我知道基普的心里也非常不舒服，因为罗纳德的话并不是完全不对。我的意思是，罗纳德从未想过他还要与其他人合作。"

德雷弗再次扮演起"莫扎特"的角色，而雷纳则陷入了艰难的困境，在自尊心不断受伤的同时，还要担心自己将会扮演"萨利埃里"的角色。对于探测器的设计与建造，雷纳有自己的想法。但是，为了完成这个项目，他只能忍辱负重、埋头苦干。他完成了实验室选址、行业研究，测试了反射镜涂层，建造了激光器。即使到了现在，他也时刻准备前往任何地点，完成需要他完成的任何工作，包括驱赶黄蜂、勘察管道、检测系统、制作电子元器件等。"最好问雷纳"这句话在我耳边出现过无数次。

"因此，基普没有离开。我是说，他只能如此。"为了把不同个性的人聚集到一起，组成一个高效团队，基普只能努力在自尊心与权力之间寻找平衡点。他建议按照不同领域划分权力，比如，分管这项工作的首席科学家，负责那项工作的首席科学家。基普处变不惊的特质以及他的个人电脑为他的这项决定提供了便利条件，这也是他独特的优势。三巨头组合利用磁盘将不成熟的想法传递给基普，经过基普的整理，就变成

了白纸黑字的正式命令。那台电脑是权威的象征，决议经过它的处理之后就变成了正式的文件。但是，真正的决定绝不会被输入电脑，并被打印成纸质文件。事实上，他们从来没有形成这样的决定。雷纳与罗纳德之间水火不容的矛盾、截然不同的处事风格（雷纳足智多谋，有一往无前的决心，而罗纳德头脑灵活，有丰富的想象力），使他们之间的合作根本没有效率可言。因此，他们三个人从来没有就任何问题达成最终决定。雷纳说道："一个也没有。"

"说一个也没有的话，这有点儿夸张。"基普后来更正了雷纳的说法，"但是，确实不多。"

雷纳说："后来，理查德·加尔文给美国国家科学基金会写了一封信。从那以后，情况才有所改观。当时是1986年5月，是我们三个人合作的第三年。

"加尔文之所以给美国国家科学基金会写这封信，或许是因为他觉得自己把这个科学领域送上了绝路，而我们的研究有可能让它重获生机。那年夏天，在收到加尔文的信后，美国国家科学基金会要求我们进行研究论证……他们给我打了一个电话。在我们三个人中，他们选择让我完成这项任务。我觉得加州理工学院的那些人对于美国国家科学基金会的这个选择多少有些怨言。后来，美国国家科学基金会全额拨付了'蓝皮书'计划所需的资金。现在看来，美国国家科学基金会的选择还是合乎情理的。"

加尔文是IBM公司的一名颇有影响力的科学家，在1969年韦伯发布引力波探测实验结果之后，他是亲自制造韦伯棒、对韦伯的实验结果加以验证的科学家之一。由于他是公司高层的顾问，因此他的观点受到了重视。他参与阻止过"星球大战"这个疯狂的项目，也曾四处奔走，呼吁停止某些可能导致灾难性后果的产业升级（例如，20世纪60年代的超音速飞机计划。该计划的目标是制造在平流层飞行的飞机，可以大幅缩减从纽约至加利福尼亚的飞行时间，但会对脆弱的大气层造成无法挽回的损害）。加尔文让韦伯跌入了万丈深渊，而且他认为这样做是符合公众利益的。引力波实验卷土重来，而且耗费巨资，这是他不愿意看到的。

雷纳接着说道："加尔文以为他已经杀死了这条巨龙，但是突然之间，它竟然复活了。

“我要说的是，尽管合作给我们带来了无数困难，但它也给我们带来了大量的新技术。在我们这个组织里，有从事激光研究的人，有从事精确测量的人，还有从事棒式引力波探测器研究的人，这些人都是相关领域的高手。我们虽然聚集了人才，但关于如何管理的问题，在无数次讨论之后仍然没有得到妥善解决。

“于是，我告诉他们问题到底出在哪里。我说：‘三巨头组合的管理模式是行不通的。我们必须彻底改变这种模式，推选出一名负责人，否则这个问题就无法解决。’后来我们才知道，在那次会议上，基普和我不约而同地告诉委员会，整个项目的管理非常糟糕。”

基普强调说：“1986年11月的那次会议非常重要……会后，除了管理以外，我们在其他所有方面都得到了积极支持。”调查报告就像一个深刻的评估结果，鼓励他们由建设阶段快速进入研发阶段。这份积极的评估报告使美国国家科学基金会的艾萨克森充满信心，他认为我们可以为这个项目提交设计与施工申请了。（在此之前，三巨头组合提交过两次申请，都遭到拒绝。）但是，必须满足一个条件：确定一位负责人。包括加尔文在内的委员会全体成员都在这份报告上签了字。

雷纳说道：“最后，负责人的人选确定出来了，就是时任加州理工学院教务长的罗克斯·沃格特。

“刚开始的时候，沃格特发挥了积极的作用。虽然我很不愿意提起这件事，但我觉得自己必须公正地看待这个问题。我听说沃格特当选项目负责人之后，马上给他的一众朋友打电话，他们众口一词地夸赞他，说他过去的表现非常突出。只有一个朋友坦诚地说了自己的看法，但我却不赞同他。至今我还清楚地记得他对我说的话：‘沃格特来了之后，你和罗纳德肯定会有所改变。’我不知道他到底是什么意思，便直截了当地问他：‘他会不会把项目搞得一团糟？’他说：‘不会，绝对不会。他会把情况理顺，让项目顺利进行下去。但是，你和罗纳德都会做出一些改变。’”

---

[1] 1平方英里≈2.59平方千米。——译者注

[2] 1平方英尺≈0.09平方米。——译者注

[3] 1立方英尺≈0.028立方米。——译者注

第11章
臭鼬工厂

Skunkworks

对于一个具有独创性而且技术上神秘莫测的大型新兴项目而言，罗克斯·沃格特被加州理工学院从教务长的位置上赶下来的这段历史，显然不会为他出任该项目负责人加分。稍加研究我们就会发现，“沃格特”在神圣罗马帝国时期是一个官职，指代表教会处理军事或司法事务的宗教机构监护者。换句话说，“沃格特”与“教务长”天生就存在某种联系。

尽管这个名字有某种预见性，但是罗克斯·沃格特对自己的评价是：“众所周知，我绝对没有专权的想法。”

担任教务长期间，他曾经表示他对加州理工学院的忠诚之心超过了他的爱国之情，他还说“雇佣枪手”这个词是教务长职责的真实写照，尽管他本人并不喜欢这个表达。他把更多的忠诚奉献给学术机构，而将国家置于次要位置，可能是出于自我保护的考虑，因为对于纳粹统治时代的德国国民来说，与这个正在崛起的政权格格不入是一段好的个人经历，而与之暗通款曲则会在教务长的个人简历上留下污点。坦白地说，他对极权主义的政治反应——害怕、抵制——都是非常恰当的，对美国宪法和个人权利保护机制的政治反应——赞赏、接受——也没有任何不妥之处。然而，沃格特将他对加州理工学院的忠诚之心置于爱国之情之上，的确是一个非常高明的选择。

我与沃格特的见面地点是他在加州理工学院的办公室。他告诉我：“昨天是5月8日。1945年5月8日，我当时15岁，被从战俘营释放出来。我心里暗暗发誓，我以后再也不会接受任何愚蠢政权的奴役了。”

在接下来的对话里，沃格特告诉我他从小在德国南部长大，但是由于纳粹的倒行逆施，他衣食无忧的生活被破坏殆尽。战后，他先后成了农民和钢铁厂工人。最后，他凭借优秀的学习成绩来到了富裕发达的美国。当时，一位美国士兵出乎意料地与他建立了友谊，并给他起了“罗比”这个绰号。这名美国士兵实际上是一名武器调查人员。他来到沃格特所在的大学，是为了调查这里是否在制造核武器，而担任学生代表的沃格特其实是他的联络人。但是，所有这些都不是加州理工学院解雇沃格特的原因。

沃格特曾经在“旅行者”计划中担任宇宙射线系统的首席研究员。两个“旅行者”号航天器是迄今为止飞得最远的人造飞行器，与地球之间的距离已经超过150亿公里，而且向着更遥远的地方继续前进。它们正在逐渐摆脱太阳磁场的作用，在钢铁外罩的保护下，迎着从遥远的恒星吹来的风，进行着星际旅行。虽然有点儿令人难以置信，但这的确是事实。沃格特竭力主张将任务目标延伸至星际空间。他认为航天器应该携带更多的联氨（一种难闻的化学燃料，在航天器脱离太阳系之后可以继续为航天器提供动力），但这会抢占行星科学家的有效载荷。沃格特说：“若航天器飞得很远，我们就必须降低数据传输的比特率……为航天器提供动力的钚发电机还可以继续工作5～10年，之后就会停止工作，通信也会因为电力不足而被迫中断……维持5年是轻而易举的事，到那时，我们将会进入星际空间，测量银河系的宇宙射线频率。但是，我说的是‘我们’，而不是‘我’……现在，他们已经完成了那些工作。唯一让我感到后悔的事就是，担任行政管理工作导致我失去了这个机会。这让我很痛心，不为别的，就是因为我无法体会到首先看到试验成功的那种愉悦心情。”

1977年从地球发射升空的“旅行者”号没有载人，但是携带了由卡尔·萨根领导的一个委员会特制的一张名为“地球之音”的铜质镀金激光唱片，收录了地球的相关信息。“旅行者”号的最低任务目标是在星际风中投放“漂流瓶”，为希望了解地球人的外星生命送去纪念品。有人反对这项计划，担心刻录在旅行者金唱片上的图像会把地球的位置泄露给潜在的入侵者。但是，这些外星生命必须先发现“旅行者”号，才有可能对地球构成威胁。在嘈杂空旷的星际空间中飞行的“旅行者”号体积非常小，并不容易被发现。即使在数万年之后，“旅行者”号也很有可能不会进入其他的恒星系统。就算外星人发现“旅行者”号之后成功地破解了它所携带的信息，也只能确定太阳系在宇宙中的位置。相比之下，利用传统意

义上的星际探测器（无论它依据的是哪种原理）来寻找地球的位置，会容易得多。

为了当上教务长，沃格特在“旅行者”号即将摆脱太阳磁场影响，开始收获宇宙射线频率这个胜利果实之际，将“旅行者”号计划的领导权拱手让人。走马上任的时候，他在内心深处反复权衡：万一被解雇，他是否有可能回头，继续参与宇宙射线系统实验。（他为什么会考虑这个问题呢？）在就任教务长后不久，沃格特在一次访谈中对自己的未来进行了展望：“如果我再次回到实验小组，那里的同事们肯定会感到非常尴尬，因为我和他们的联系中断过。因此，毫无疑问，我只能进入一个全新的领域。”结果没过几年，沃格特真的被时任加州理工学院院长的默夫·戈德伯格炒了鱿鱼。如果戈德伯格有足够大的权力，说不定他还会更早解雇沃格特。但是，要解雇一个教务长，戈德伯格必须征得董事会的同意。尽管董事会认为沃格特是一名经验丰富且富有创造力的管理者，但他们也认为他性格多疑、难以相处。怨恨与指责导致沃格特与管理层之间的关系出现了裂痕，他们的合作只能走向终结。所有这些都是逸事，除了把沃格特推向命中注定的位置以外，可能与本书没有多大的关系。

消极因素接踵而来：失业（虽然薪金照发），无法回到之前从事的科研领域（“这会让他们感到非常尴尬”），只能在物理大楼地下一层的男卫生间附近找到一个落脚之地（没有实验室，也没有合作团队），忍受失望的折磨。（在他被解雇时，学校的教职工为什么没有联合起来予以抵制呢？）最终，沃格特做好了“进入一个全新领域”的准备。与此同时，积极因素——抱负、梦想和活力——给了他前进的动力，他唯一需要的就是三巨头组合解体形成的空当。就这样，罗克斯·沃格特走马上任了。

后来，他又从LIGO项目负责人的职位上被人赶了下来。“我已经有25年没有接触LIGO项目了。”他似乎在提醒我，我们的谈话没有任何意义。然而，对于我的拜访，他还是欢迎的。他那间宽敞的拐角办公室位于LIGO总部大楼里，走廊的尽头是他同事的办公室，但是他已经有近25年时间没和他们说过话了。LIGO项目组的重要科学家都见过他，但从未与他接触。在他们眼中，声名狼藉、身材魁梧的罗克斯·沃格特令人望而生畏，就像是一个出没于黑暗衣橱的幽灵，最好还是把他关在门后，永远不要放他出来。因此，看到我与他接触，他们都露出了难以置信甚至颇为好奇的神情。

沃格特的教务长任期结束的那天，由于部门里的一些文件需要教务长过目，所以加州理工学院物理、数学与天文学系主任来到沃格特的办公室。沃格特指着那些文件说："把这些东西拿走吧。你们以后不用找我签字了，我刚刚辞职了。"埃德·斯通主任大吃一惊："天啊，这是真的吗？"沃格特解释说，LIGO项目组已决定由他担任负责人。斯通来找沃格特，本来是想在他心情好的时候说一些奉承话，再谈工作的事。但是，在他刚刚被赶下教务长宝座的时候来找他办事，等于为他送上了一个安慰奖。

据基普推测，尽管罗克斯·沃格特那天的反应可能会令埃德·斯通产生错觉，以为他已经是LIGO项目的负责人了，但实际上，"下台"几周之后他才得到这份新工作。

我们在他的办公室就座之后，沃格特告诉我，他是被迫接受这个职位的："我婉言谢绝了，但是他们仍然坚持让我接受。"由于韦伯的棒式引力波探测器与他的那个有争议的实验结果引起人们对这个领域的怀疑，所以他并不愿意担任这个职务。"说句题外话，韦伯是个悲剧人物。虽然他是一名优秀的科学家，但是他迫切希望探测到引力波，以至于在解读数据时犯了大错。"

最终，沃格特在巨大的行政压力面前妥协了。"但是，一旦我决定接受这份工作，我就会把它看成我自己的项目，全身心投入其中。我必须心无旁骛。"

1987年，沃格特开始担任LIGO项目负责人。三巨头组合——罗纳德·德雷弗、雷纳·韦斯和基普·索恩——得到了解放，可以在项目组里自由地追逐各自的目标。沃格特对基普赞不绝口："他应该被授予诺贝尔物理学奖。"他对雷纳·韦斯的评价是："一位优秀的科学家，一个好人。"他甚至还表扬了罗纳德·德雷弗："我知道，罗纳德是一位才华横溢的科学家，不过他的个性有点儿疯狂。"（开诚布公地说，舆论一致认为可以考虑给三巨头组合授予诺贝尔奖。）在LIGO项目负责人的岗位上，沃格特把他性格中的所有优点和所有不足都发挥得淋漓尽致。有人对他进行过恰如其分的形容，因为是通过第三方了解到的，所以我在这里匿名引用："沃格特拥有无与伦比的洞察力、创造力和解决问题的能力，然而，他制造问题的能力也无人可及。"

1989年，罗克斯·沃格特作为首席研究员，向美国国家科学基金会提

交了加州理工学院——麻省理工学院联合小组辛勤劳动的成果：一份长达229页的“引力波探测器的建造、操作与支持研发报告”。这份全面深入、富有洞见的报告以一段引言开篇：

> 没有比引领事物的新秩序更难把握、更冒险和更不确定的了。
>
> ——马基雅维利，《君主论》（1513）

雷纳称这份报告是一部伟大的作品。项目组全体成员通过潜心工作，为LIGO项目成功地建造了两台在美国海岸线的不同位置同步工作的4 000米探测器，对各种怀疑观点给予了有力的回击。雷纳通过这份目标明确的报告，向美国国家科学基金会提出了金额为193 918 509美元的资金申请。他们计划从1990年开始，利用4年时间建成实际可行的探测器。小组在概要部分为LIGO项目（从此以后这个名称正式启用）列出了两大目标：“第一，验证广义相对论……第二，为观察宇宙打开一扇不同于射电天文学和粒子天文学等传统方式的新窗口。”通过这份申请报告，沃格特开始了他作为LIGO项目负责人的新使命（尽管他最终没能完成）。他们的资金申请也得到了美国国家科学基金会的批准。

2亿美元的资金不可能轻轻松松地通过银行账户转给项目组。这个数额虽然看起来不小，但与那些动辄数十亿美元的预算项目（例如，粒子加速器项目）相比就不算什么了。然而，LIGO项目是美国国家科学基金会支持的最大型的项目，因此必须经过国会同意。毫无疑问，他们已经解决了一个大麻烦，但是还有更多的麻烦需要解决。为了让美国国会同意基金会的资金支持计划，他们开始了一场旷日持久的拉锯战。一些国会议员对LIGO项目进行了攻击，他们认为，根据沃格特的介绍，这个项目（甚至所有的科学研究）都是一种徒劳的烧钱行为。因此，美国国会冻结了这笔资金，导致场地建设停了下来。在两年时间里，沃格特频繁去往华盛顿，寻求美国参议院和众议院的支持，成为国会大厦所有办公室以及拨款委员会的常客。

沃格特要求加州理工学院为他安排一名说客，帮他游说国会议员。时至今日，加州理工学院的教授们也很少使用这个手段。在受到百般阻挠之后，加州理工学院安排了一名专业人员为他出谋划策，他带着这名助手去到华盛顿，准备破除坚冰。1991年3月13日，美国众议院召开科学、空间与技术委员会听证会。沃格特以为自己已经做好了准备，结果

反对方的证词还是打了他一个措手不及。正是在这次听证会上，著名天文学家托尼·泰森发表了措辞极其严厉的评估意见。

1971年，托尼·泰森建造了自己的韦伯棒，并开始探测引力波。他做了几年实验，除了检测到阿拉斯加的一次地下核武器试验以外，一无所获。当时，近5兆吨的核武器被投放到一个竖井中。引爆后，阿拉斯加爆炸点周围的地面在不到1秒钟的时间里足足升高了50英尺，也让托尼放置在贝尔实验室里的韦伯棒产生了反应。LIGO项目在美国国会引起争论时，托尼已经在做其他领域的研究了，但他认为自己仍然是引力波探测实验的支持者之一。

在收到科学分委会的做证要求之后，托尼告诉自己："我最好还是置身事外吧。"但是，科学分委会以传唤到庭相威胁，托尼只好同意通过工程计算来完成这个项目的技术可行性评估。此时，距听证会的时间已经不足一个月了。托尼对LIGO项目表示支持，并且指出这项技术必将取得快速发展。至今，托尼仍然深信一点："如果发现了通向宇宙的一扇新窗户，我们就应该上前去看一看。"然而，他也对该项目能否取得科学成果表示担心。在这一点上，他与那些对纯技术不太感兴趣以及不愿意冒险的人不谋而合。他认为第一代引力波探测器成本过高，成功的可能性极小。天文学界可能需要几十年时间才能完成新型探测器的研发，但是研发费用并不包括在所申请的预算（此时已追加至2.11亿美元）中。此外，耗费巨资建造的设施竟然仅供4个人（应该是指基普·索恩、雷纳·韦斯、罗纳德·德雷弗和罗克斯·沃格特）使用，这也令他感到不满。他证词中的一段话给人留下了难以磨灭的印象：

我们可以想象一下这段距离到底有多长，足够绕地球1 000亿圈……在引力波的作用下，这么长的距离在短时间里发生变化的幅度竟然小于人类一根头发的直径，而且留给我们的测量时间不到一秒钟。此外，我们不知道这种微小的变化何时会发生，下个月、明年还是30年以后？

托尼告诉我，他没有把自己被迫做证的事及时通知基普和沃格特，对此他深感后悔。他承认，直到做证前一个小时，他才开始考虑自己的证词会产生何种影响。在听证会的前一晚，他把自己证词的副本交给了基普和沃格特。

基普·索恩说："事实上，在听证会的头天晚上，托尼通过联邦快递

将证词副本送去给加州理工学院的沃格特。但是邮件送达时，沃格特已经去华盛顿了。因此，包括沃格特在内的所有人，事先都不知道托尼·泰森会在听证会上说什么。这完全是一次突然袭击。”

基普在听证会上做证后，于当天深夜给托尼打了一个电话。通完电话后托尼心情沉重，连续几天都难以入眠。托尼说：“沃格特说了一些有意思的话。基普显然非常难过，我的心情也非常沉重。”

1991年3月16日，基普在写给托尼的电子邮件中对他估计的引力波发射源进行了辩解，并且说“我在处理这个问题时的态度是非常谨慎的”。接着，他写道：“你和一些天文学家认为‘引力波的强度与引力波发射源的出现概率被严重高估了’（引自托尼的听证会证词。这句话还与一个对天文学家的非正式调查有关，而托尼在完成这次调查后就后悔了），但事实上，我坚信你们的这个观点与我在LIGO项目申请报告以及天文学与物理学分会调查报告中做出的估计没有任何关系。”

在邮件的附言中，基普写道：“开诚布公地说，你的证词中的‘严重高估’的说法令我深受伤害。几天来，我夜不能寐。我认为你的观点是不公正的。几年来，为了做出诚实、准确的估计，我做了大量工作。请明确指出我在哪些地方犯了错误，否则就要弥补你对LIGO项目以及我个人声誉造成的不利影响。”

三天后，托尼·泰森给沃格特发了一封传真：“我修改了原来的书面证词。”传真全文使用的都是大写字母。他删掉了“严重”这个词，并添加了“在过去”三个字。于是，修改后的证词变成：“大多数人都认为，引力波的强度与引力波发射源的出现概率在过去被高估了。”

托尼修改证词之后，沃格特说：“对我个人而言，回过头检查证词是一项痛苦的工作。在LIGO项目的问题上，我的朋友有的持支持态度，有的持反对态度。为了防范风险、支持创新，我们必须千方百计地寻找各种资源，包括：研究人员的聪明才智，必然会产生重大科学发现的大型设施的建设计划，以及少数大型科研项目面临的风险与前景等。”

沃格特回忆说：“托尼真的让我大吃一惊，他的证词完全出乎我的意料。他为人可靠，是一名优秀的科学家，我们的关系一直很友好。但不管怎么说，那份证词破坏力很强。”当时，那名游说助手走过来对他说道：“他这是要覆灭你。”

由于LIGO项目没有表现出令人信服的“大科学”特征（具有这种特征的往往是志存高远的物理学的加速器项目，而不是天文学的探测器项目），所以反对者发起了反LIGO运动。2亿美元是美国国家科学基金会的天文学研究年度预算的两倍，金额之大可见一斑。（里奇·艾萨克森不同意这种说法，他说：“LIGO探测器的建造是一个历时数年的工程，与年度科研预算毫不相干，把它们放到一起做比较，显然具有误导性。”）因此，这很有可能会影响到那些有望取得重大科研成果的小型科研项目。LIGO项目组与美国国家科学基金会的理由是，这项申请有助于建立一条新的预算线，从长远来看可以确保科研活动得到更多的资金支持。没有人可以挪用国家科学基金会支持的研究项目的资金，有远见的仪器设计与开发项目未来也可以得到更多的资金支持。然而，普林斯顿大学的两位有影响力的天文物理学家——约翰·巴考和杰瑞·奥斯特里克，对LIGO项目表示反对。沃格特耸耸肩说道：“普林斯顿大学的人密谋反对LIGO项目。他们担心LIGO项目会占用天文学研究的预算，因此找了一些冠冕堂皇的理由。”

雷纳告诉我，LIGO名称中的“天文台”（Observatory）一词为人们的担忧提供了哲学依据（在成功观察到天文现象之前，它是不能称为“天文台”的）、经济学依据（与造价低廉得多的天文台争夺资金的问题前面已经讲过了）和社会学依据（该项目与物理学的关系似乎更近，因此无权分享天文学研究的预算）。雷纳认为他应该为项目名称的问题负责，同时他感到有点儿好奇：如果当初这个项目被命名为“设施”（facility）或者“实验”（experiment），现在会是什么状况呢？然而必须承认的是，LIGF或LIGE还不如LIGO。

反对声导致天文台的建造工作被搁置下来。沃格特需要得到有影响力的国会议员的支持，他首先找到了多数党主席乔治·米切尔。米切尔希望将LIGO项目搬到缅因州。在喷气推进实验室的地质学家的帮助下，LIGO项目组开始了在缅因州的选址工作。虽然缅因州的各个方面都符合要求，但是由于需要拆迁、平整土地，因此成本将超出预算。米切尔承诺发行特别债券，同时缅因州将资助600万美元，来负担多出来的那部分成本。

沃格特问米切尔：“你们州的经济情况不佳，为什么愿意为LIGO这样一个前景不明朗的科研项目发行特别债券呢？”米切尔回答说，为了声誉。缅因州希望吸引高科技和生物医药项目，LIGO是帮助他们实现这个

目标的最佳途径。他们希望借助LIGO项目，展现他们的进取心和奉献精神。

沃格特认真研究了纷繁复杂的地震与地质信息，在向国会做陈述时，把项目的地址拟定为华盛顿州的汉福德和缅因州。但是，时任美国国家科学基金会主席的沃尔特·马西拒绝就选址问题当场做决定，也不愿意继续讨论这个重要问题，因此沃格特的选址建议被搁置了。令人意想不到的是，沃尔特·马西后来又催促沃格特赶到华盛顿。原来，LIGO项目的选址方案即将在一个新闻发布会上公布，他希望沃格特到国会大厦支持他。

沃格特回忆道："我问他：'沃尔特，你选择了哪里？'他回答说：'你来了就知道了。'"

沃格特赶到华盛顿之后，得知沃尔特选择的两个地点分别是华盛顿州的汉福德和路易斯安那州的利文斯顿。沃格特不满地说："沃尔特，你这是陷我于不义啊。米切尔肯定会非常生气。"米切尔的确十分恼火。为了支持LIGO项目的选址工作，缅因州投入了大量的人力物力。米切尔不遗余力地支持LIGO项目，而且缅因州可以提供更适合的科研场所。后来，沃格特才知道，这次变故是由政治因素造成的。米切尔是美国参议院多数党领袖，为了压制米切尔，共和党执政的白宫做出了这个决定。尽管沃格特倾向于缅因州，但他还是失去了米切尔这个国会盟友。此时，美国国会仍然不同意给LIGO项目拨付建设资金。根据国会的标准，这笔款项的金额不算非常大，与美国的总预算相比不值一提。但是，用政治通货计算的价值虽然难以量化，却具有更加重要的意义。

但是，美国国家科学基金会的里奇·艾萨克森对具体细节的回忆却有所不同。他说，他们刚开始的时候考虑了犹他州、加利福尼亚州、美国东海岸以及中部地区的多个地点，包括军事基地、私有土地、沙漠和沼泽地。沃格特向美国国家科学基金会做陈述时，提交的名单涉及近20个可能的地点、100多种组合方式，而且排序没有先后之分。在拿到这份名单后，基金会制定了一系列严格的评判标准，包括两台探测器的相对位置、地震的相关情况、成本、征地难易程度，以及其他重要指标，并成立了两个独立的委员会，对这些地点组合进行筛选。最后，当时的美国国家科学基金会主席沃尔特做出了决定。艾萨克森直白地说道："美国国家科学基金会决策的基础是科学，而不是政治。"

然而无论如何，沃格特需要在华盛顿找一个新盟友。他对游说助手说：“帮我约一下约翰斯顿。”助手提醒道：“约翰斯顿不好约啊。”约见贝内特·约翰斯顿的确不是一件容易的事。最后，助手帮沃格特争取到了20分钟的时间。沃格特知道，她肯定是费了九牛二虎之力。于是，沃格特在那20分钟里使出浑身解数，让路易斯安那州的这位参议员对宇宙学产生了兴趣。约翰斯顿取消了后面的几个约见安排，与沃格特谈了两个小时。这次谈话为路易斯安那州启动利文斯顿引力波探测器项目奠定了基础。谈到最后，两人都席地而坐。沃格特在地板上绘制了宇宙起源时空图，向约翰斯顿参议员详细介绍了大自然馈赠给人类的那些微妙而美好的礼物。他们最终达成了协议，选定了地址，还谈妥了项目资金。经过两年艰苦卓绝的努力，美国国会终于同意将2亿美元的资金拨付给加州理工学院。

沃格特说：“就这样，我立了一大功，申请到了那笔资金。这中间真的吃了不少苦头，不亚于打了一场艰苦的战役。但我喜欢胜利的感觉。”

一夜之间，LIGO项目变成了加州理工学院尝试过的最大的项目（此项统计不包括曾经执行过“旅行者”号等大型任务的喷气推进实验室）。那些整天泡在实验室里埋头做科研、对学术政治漠不关心的加州理工学院的科学家们，第一次听说这个计划斥资2亿美元建造第一代探测器、叫作“LIGO”的科研项目。为了赢得支持，基普曾经把LIGO项目的有关信息向加州理工学院的所有人做了详细清楚的介绍。尽管如此，当好消息传来时，仍然有很多实验人员感到震惊。他们从实验室里走出来，四处打听详细情况。

在这种情况下，LIGO项目应该可以紧锣密鼓地启动了：破土动工，建造房屋；在随后20年里，现有的这些机器就会建造完成；一个个零部件被组装起来，拆解后再组装；红色的激光束在探测器的两个“大动脉”中来回反射。但是，这一切都是在沃格特被辞退之后才发生的。

沃格特知道，2亿美元听上去是一大笔钱，但是对于LIGO项目而言，它只是杯水车薪。然而，他终于可以按照自己的想法开展这个项目了：没有管理机构，只有世界上最优秀的科学家，一周工作7天，每天工作16个小时。

据加州理工学院的一些人介绍，沃格特通过近乎偏执的强硬手段，组建起一支全新的科研队伍，并招收了一些刚毕业的博士担任研究助

理。团队的负责人恪尽职守、目光长远，所有人热情高涨、责任明确。但也有人针对其可行性提出了质疑。此外，团队还遭到了落选科学家的抵制与抨击。沃格特可能把反对者的这些目标不统一的威胁变成一种黏合剂，使人数不多的科研团队紧密团结起来，形成了一种类似于“臭鼬工厂”的管理风格：为一小群专业人员提供资金支持，然后将他们关在一个与世隔绝的环境中，以免他们的创新思维受到任何限制。秉持这种管理风格的研究团队无须接受任何官僚机构的领导，组织结构中也没有传统的等级制度。

“臭鼬工厂”这个词来源于美国航空航天和国防业的洛克希德公司的高级发展计划，带有某种乌托邦的意味，意指不受任何限制的孵化器。1943年，洛克希德公司利用大约6个月的时间，在伯班克研发出美国第一代喷气式战斗机——P–80“流星”号。由于附近有一家塑料厂，研发人员工作的马戏团帐篷里始终充斥着难闻的气味。研发人员开玩笑说，这种气味与连环漫画《莱尔·艾布纳》中从事非法生产的臭鼬工厂散发出来的恶臭味儿非常相似。于是，洛克希德的这项计划就有了“臭鼬工厂”的别名。

沃格特的臭鼬工厂管理风格源自他对权力的憎恨。面对管理层的监管，他经常摆出不屑一顾的姿态。由于憎恨官僚，他宁愿从事行政管理工作，因为他觉得其他人选都是“白痴”。只要他义无反顾地站出来，就可以避免其他人占据这个位置。他说：“每次担任某个职务，我都觉得我的上级是一个白痴，而我做的才是最重要的工作。不管我爬到多高的位置，我的上面总还有一名白痴在那里指手画脚。”为了彻底摆脱这种状况，沃格特下定决心，不能让任何人占据比他高的位置，就算美国国家科学基金会也不行。基金会只能提供资金，而不能插手具体业务。科学家们做出任何决定，都无须向美国国家科学基金会或其他人做出解释。

“任何人想要权力的话先得说服我，让我尊重他们。如果他们是官员，我根本不会尊重他们。如果得不到我的尊重，就得不到我的配合。我从来都不会配合任何人，也因此遇到了很多麻烦。但是，对我个人而言，我感到很自在，这就是我想要的生活方式。”

沃格特解释说：“受过纳粹政权迫害的人都会厌恶权力。”

沃格特深情地说，他的父亲是一名埃及考古学家，为人坦率，喜欢挖苦人，对纳粹攫取政权持强烈反对的态度。他的母亲不关心政治，是

一名实业家，继承了她父亲的公司。说到这里，沃格特顺带恭维了我一番：“我一直有种女权主义倾向，认为女性没有享受到平等的权利。这并不是因为我是一个有骑士精神的人，也不是因为我品格高尚，而是因为我的母亲经营过一家大公司。我的母亲之所以能继承那家公司，是因为她是我外祖父唯一的孩子……我非常尊重我的母亲，她是世界上最美丽、最能干的女性……她带我去过她的工厂，所以我了解她的工作……我手下的女教授们也非常优秀，因此我有女权主义倾向。”

加州理工学院的档案管理员已经拿到了他办公室的钥匙，正在整理他留下的那些公文。他们把文件分门别类地放进几个大垃圾桶，有的要处理掉，有的移交他人（但我分不清）。沃格特曾经存在的证据将变成档案材料，供后来的学者阅读研究。在那些档案中，沃格特变成了一个父亲、一个有成就的科学家、一个有影响力的科研带头人，情绪多变、令人害怕、热情似火、极易受到伤害，同时还是一位强烈要求下属对他忠贞不二的反集权主义者。1945年劳动节那天，他开始重新书写自己的人生，但是以往的那些经历仍然激励着他。

沃格特希望我明白，很多德国人曾经在纳粹统治下受尽折磨。“尽管其他德国人的遭遇与犹太人不一样，但他们在纳粹统治下同样过着无法形容的悲惨生活。纳粹非常善于摧毁人们的反抗意识，在逮捕男性的同时，还会逮捕他们的妻子。”被处决的政治犯的孩子先被送进军校，再被送上战场。一个14岁的孩子可能需要带领一支全部由儿童组成的部队。儿童的“身体可以挡子弹，这正是纳粹需要的”。这些孩子甚至没有接受任何军事训练，手上的武器是铁锹和铁镐。1944年英国发动反攻，德国陆军给这些孩子分发火箭炮和步枪，然后将他们送上战场。最终，没有一个孩子幸免于难。在说到这些暴行时，沃格特对权力的怒火以及发自内心的鄙视凸显出来：“纳粹在本国公民头上作威作福，没有一点儿仁慈之心。”

谈话一下子偏离了主题，然后，沃格特似乎又迫不及待地想把话题拉回来。他的手猛地一翻（我觉得他是在翻转一个想象的沙漏），然后狠狠地拍在桌子上：“1945年5月8日，世界发生了翻天覆地的变化，我也开始了新生活。”

隔着一盆开败了的兰花，这位八十四五岁高龄的老人一边看着我，一边讲述着他人生的酸甜苦辣。他个性坚强又极其脆弱。（他告诉我：“每天早晨对我而言都是一种煎熬。”）虽然他希望忘记那些痛苦的

经历，但是那个年代打在他身上的烙印实在太深了，让他无法忘记。他希望留在记忆里的是他作为一名科学家为社会做出的贡献，比如“旅行者”号和凯克天文台，后者拥有全世界口径最大的光学、近红外线望远镜（在为修建凯克天文台申请资金时，沃格特发挥了关键作用）。沃格特也希望把LIGO留在他的记忆之中。他仍然认为，保护科学，保护移民及其理想，是他一生的义务。

他希望自己忘记的是那15年中最后一年的年初，当时盟军开始挺进德国境内。我提出的关于他童年生活的问题，显然勾起了他的痛苦回忆。他四下张望，若有所思，似乎不想谈论这个话题。这让我感到迷惑不解，因为我问的问题其实都非常简单。终于，他开口了。他的话简洁明了，没有任何粉饰，措辞小心谨慎。显然，他希望化繁为简，用最简单、最直接的方式阐述事实，而且点到即止。他说：“我不愿意出名，也不愿意被任何人奉为英雄。我只希望默默无闻地生活。”

他盯着我，沉默了一会儿。这是我们长达5个多小时的谈话中唯一一次停顿。我无法确定，但我认为他是在考虑我是否值得信任。他盯着我看，专注程度超过谈话的其他任何阶段，似乎在寻找蛛丝马迹，用来判断我是否可以信任，他是否应该回答我的问题。他轻声地（轻声细语完全不是沃格特的风格）说道：“你问我是否渴求得到一官半职，我的回答是‘不’。我讨厌权力，因为行使权力……会让人堕落。”

第12章
霍金的赌局

Gambling

科学界的人都知道，史蒂芬·霍金与人打赌的胜率非常低。他在公开场合与人打赌，从来没有赢过。一次，霍金与加州理工学院的理论学家约翰·普雷斯基尔打赌，称任何信息都无法逃离黑洞，即使他本人发现的“霍金辐射”也无法将信息带出黑洞。后来，他认输了，尽管很多人（包括普雷斯基尔）都说认输为时尚早。基普也参与了这次打赌，而且与霍金站在同一边，但是他至今没有认输。

霍金坚信人类永远无法找到希格斯粒子（我们所在的物质世界的黏合剂）。实验物理学家利昂·莱德曼给希格斯粒子起了一个非常著名的昵称——“该死的粒子”。但是，出版社不愿意采纳这个名字，把他那本书的书名改成了“上帝粒子”。不幸的是，霍金在打赌方面的败绩还在延续。希格斯粒子被找到了，还有人因此获得诺贝尔物理学奖。希格斯粒子的发现既令人失望，（这方面的研究是不是已经到了穷途末路？）又是一大胜利。（他们成功了！）此外，它还让霍金输给同事戈登·凯恩几百美元。

霍金也就外星人杀手、机器人等问题跟人打过一些非常奇怪的赌。这些问题的答案都不大可能揭晓，因此这些赌局也许会让他取得有史以来最好的战绩。

批评霍金是一个拙劣的赌徒（不是说他嗜赌成瘾，而是说他十赌九输），也许会让我们对他最著名的赌局的重大意义视而不见。霍金跟基普打赌，说从地球上看天空中最明亮的X射线源之一天鹅座X–1中没有黑洞。二人打赌的时间是在1974年，距离人们从天鹅座探测到X射线已经

过去10年时间了。当时，霍金投入大量精力对黑洞进行深入研究，并因为发现黑洞可能会消失而确立了自己的学术地位。有时候，霍金会两边下注，目的纯粹是找乐子。霍金与基普的那个赌局在游戏规则的开头指出：“尽管史蒂芬·霍金在广义相对论和黑洞这两个研究领域投入了大量精力，并且希望为此购买一份保险，但基普·索恩却想将生活置于没有保险保障的危险境地……”1990年，霍金带着一群人来到基普的办公室去认输，但基普不在办公室里，他在苏联。霍金在银行本票上摁了手印，根据商定的赔付方式，付款为基普订阅了一份色情杂志。结果，“基普的太太为此勃然大怒”，至少传言是这么说的。但是，思想开明的基普太太——卡罗莉·乔伊斯·温斯坦说：“我根本没有生气，我当时的反应主要是惊讶……我以为妇女解放运动已经颇有成效，人们对这一类事物应该可以坦然接受。很显然，我错了。可能这件事令媒体不知所措，所以他们杜撰了这个‘基普的太太勃然大怒’的故事。”在从不故作正经的卡罗莉看来，这件事很有意思。

与好友霍金相比，基普是一名高明的赌徒。他宣称，只要赌局不设截止日期，他就不会输。他曾经在一个设定了截止日期的赌局中输给了耶利米·奥斯特里克，原因是这位多产的天体物理学家正好是天鹅座X–1 X射线衍射理论的提出者之一。

就在罗克斯·沃格特努力说服美国国会拨款时，基普·索恩正在科研一线四处游说。20世纪80年代，基普在普林斯顿大学的礼堂做过一场热情洋溢的演讲。坐在台下的耶利米·奥斯特里克不想在演讲过程中给基普添麻烦，但是他暗暗地想：“他是从哪里得到这些数字的呢？”他指的是强度足以被LIGO探测到的引力波发射源的估计数量。奥斯特里克相信引力波是由天体系统产生的，但是他认为引力波的强度和数量应该不足以使基普的梦想成真。

之前，当有人指责他过于乐观时，基普会用参考文献、文件资料和公开发表的各种图表，耐心地对他们进行驳斥。基普找出他在1980年发表的一篇文章，指着其中的一个图表对我说：“关于‘引力波的强度究竟多大才不会颠覆我们在引力属性和银河系天体物理结构这两个方面的坚定信念’这个问题，这条‘坚定信念’线可以告诉我们答案。这条线对应的是一个无比喧闹的天空，我从来没有说它代表的是引力波的真实强度。”在那篇文章中，基普写道：“不过，现在和不久前流行于世的宇宙模型都预测最强的（脉冲信号）应该远低于这条‘坚定信念’线。”尽管这

些模型中有的已经过时，但是人们研发高灵敏度探测器的劲头却从未松懈，所以今天的高新探测器才能达到现有的灵敏度。（1978年，某一个学术会议甚至还给与会者发放了T恤衫，上面印着“达不到10^{-21}，我们誓不罢休！”的字样。）

耶利米·奥斯特里克与同样来自普林斯顿大学的约翰·巴考尔对LIGO探测器的批评可能最为严厉。富有魅力、善于游说的LIGO宣传运动发起者（他们可能会称之为宣传员）基普深知，他的同行和美国国会那些人对于历时较长而又没有成功保证的大型科研项目肯定不会认同，因此他必须想办法让他们改变观念。基普可以摆出确凿的科学依据，证明LIGO很有可能探测到天体信号。他们能听到一些声音，这种可能性非常高，几乎可以保证。但是，即使是现在，基普也不会保证他们绝对可以探测到引力波。

无论人们以前是怎么想的，一些信号源的真实性现在已经不会引起争议了。那些致密双星，只要我们知道它们确实存在，就能保证LIGO项目立于不败之地。即使有很多问题尚未确定，作为引力波信号源，它们仍然可以保证地球上的这些天文台取得成功。修饰语“致密”描述的是恒星坍缩后形成的白矮星、中子星和黑洞。它们都是致密星体，体积较小，质量却非常大。而且，它们都已经“死亡”，不论以前是什么样子，现在都无法发射出明亮的光芒了。

在雷纳刚开始构思LIGO项目的时候，对信号源的确定程度还没有现在这么高。惠勒创造“黑洞”这个名词已经是20年前的事情了，备受尊重的天体物理学家对于理论证据可以泰然处之，他们的更高目标是获得经验证据。他们设定的这个目标显然没有问题，但是人们总能找到其他方法解释不断增加的证据，而且这些方法变得越来越复杂（为了达到曲解数据的目的，他们甚至会扯出气体云）。雷纳说：“与奥卡姆剃刀定律相悖，这些解释极其复杂、随意……我的意思是如果麻省理工学院最受尊敬的教授们认为黑洞不存在，我就不会去学校申请探测黑洞所需的资金。”

但是，所有人都非常激动。脉冲星的发现让很多科学家深信中子星是存在的。在蟹状星云中心星被发现之后，科学界终于相信中子星是引力坍缩的最终状态，至少对于某些恒星来说是这样的。天鹅座X–1等明亮的X射线源为黑洞的存在提供了证据。最后的结论是赫尔斯–泰勒脉冲星系统以间接的方式证明损失的能量转化成了引力波。既然有那么多的

人相信恒星死亡后会变成致密星体，引力波信号源的存在就应该确定无疑了。但问题是，有多少信号源呢？

白矮星和中子星发出的光非常暗淡，如果位于银河系外，就根本看不到。在直径约为10万光年的银河系里，我们能看到可以证明白矮星和中子星存在的证据。离银河系最近的大型星系是仙女星系，距离我们大约250万光年。我们可以看见遥远星系里的超新星，但如果距离达到数百万甚至数十亿光年，我们就无法看到这些超新星爆发后形成的致密星体。我们有充分的理由相信，可以根据对银河系的了解推断其他星系的相关情况。在可以观察到的宇宙空间里有无数星系，每个星系又包含数不清的恒星。星系的数量难以统计，恒星的数量更是不计其数，其中必然有一些恒星死亡后留下的残骸。但是，银河系以外的致密星体非常暗淡，用望远镜是观察不到的。

既然有那么多的致密星体，LIGO项目组自然希望可以借助引力波探测器探测到它们。在太空里静止不动的致密星体不会发射引力波，就像放着不动的鼓槌不会让鼓发出声音一样。要把鼓敲响，鼓槌必须动起来。这些致密星体必须运动起来，才能将能量传递至引力波。赫尔斯–泰勒脉冲星以越来越快的速度，围绕另一颗中子星运转。尽管超新星爆发可能会将伴星弹射出去，但大多数双星系统很可能都是成对“出生”、成对“死亡”的。LIGO项目组苦苦搜寻的是那些同时死亡的双星系统。这些致密星体以越来越快的速度沿轨道运转，就像鼓槌敲打着时空这面巨鼓，奏响了美妙的引力波蓝调。

致密双星系统沿轨道运转时，产生时空的涟漪需要消耗能量，因此它们会旋近（inspiral），也就是说，相互之间的距离会逐渐缩小。每转一圈，它们之间的距离就会缩小一点儿，运行周期也会缩短一点儿。

所有双星系统，无论是不是致密星体，都会发射引力波。由于引力波造成的能量损失，除了太阳系效应引起的其他变化，地球在自转的同时也在慢慢地向太阳靠近。同样，月球在向地球靠近，太阳则不断接近银河系的中心位置。但是，所有这些旋近都非常缓慢，它们发射的引力波极其微弱，几乎无法探测到。整个过程所需的时间非常长，远超宇宙存在的时间。太阳将第一个死亡，银河系首先会与仙女星系碰撞。世界末日到来时，人类仍然在地球上用引力波探测器探测天文异象的可能性不大。霍金也许可以拿这个与别人打赌，权当娱乐。

但是，LIGO探测器有可能发现致密双星系统旋近的最终状态。想象一下，黑洞碰撞的最后时刻会出现哪些场景。首先是两个黑洞（假设它们的直径分别是60千米）在太空中相互围绕对方运行。它们的速度非常快，每秒运行几百圈。随后，它们相互碰撞合并为一体。在这个过程中，它们的运动使空间发生振荡。由于强度比较大，当引力波从地球上方经过时，我们可以探测到这场大灾难。只有到了最后时刻，引力波足够强，才会被探测器捕捉到。致密双星系统的寿命通常有数十亿年。如果把观察目标限制在银河系范围内，在这些致密双星系统生命终结前的15分钟里探测到它们的可能性将会非常小，这一点令人十分气馁。

银河系里中子星相互碰撞的发生频率大约是每一万年一次，但是预测工作仍然充满不确定性。中子星与黑洞碰撞的发生频率可能是几十万年一次，黑洞相互碰撞的发生频率可能是200万年一次。因此，花50年的时间建造LIGO探测器，却只用来记录银河系内发生的致密星体碰撞现象，是一个非常愚蠢的想法。

LIGO探测器必须记录数百万个星系引发的空间振荡，才能使记录黑洞碰撞的成功概率达到科学合理的程度（比如，在试运行一年内取得成功）。其他星系距离我们非常遥远，因此LIGO探测器必须探测遥远的空间，把更多的可能目标纳入探测范围。但是，探测距离越远，信号就越微弱。因此，尽管第一代LIGO探测器完成了6次科研运行（探测器全面运转并记录数据的次数），但它们只能观测到大约4 500万光年距离范围内的成对中子星，最远可达附近的室女座星系团。成对黑洞的可探测范围略大于成对中子星的可探测范围。这个距离似乎已经非常远了，但还不能满足引力波探测的需要。因此，第一代探测器一无所获。

几十年前，基普在普林斯顿大学做了那场演讲之后，奥斯特里克问了一个萦绕在他心头多时的问题：“你是从哪里得到这些数字的？”只在信号源数量非常多的情况下，第一代探测器才有可能捕捉到某些声音，否则，它们有所发现的可能性非常小。根据理论，信号源大量存在的可能性难以估计。基普说，信号源数量的那些最高估计值至少符合物理定律，那些最低估计值则是他们一直追求的目标。出身天文学世家的奥斯特里克坚持认为这些数字令人迷惑，与天文学的现实情况格格不入。

大约在30年前，基普与人打赌，称LIGO探测器在2000年1月1日就会探测到引力波。他坚信这是不可能的。奥斯特里克是这场赌局的另一方，他坚信这是不可能的。奥斯特里克为这个赌局设置了几个科学合理

的条件，包括：至少有两个团队承认引力波已经被成功地探测到，而且这两个团队必须承认彼此对探测结果的分析是正确的。事实证明，奥斯特里克纯属多此一举。2000年1月1日悄然而至，又悄然而逝，刚刚组装完成的第一代LIGO探测器没有采集到任何相关数据。奥斯特里克宣称："我贴在他墙上的赌局协议突然消失了。"

基普回应道："坦率地说，我认为那份协议一直在墙上。为了签字确认，我把它从墙上拿了下来，但几天之后我又把它贴回去了。"

奥斯特里克说他并没有马上要求基普兑现赌注，而且不断地在他的朋友圈里对他表示关心："基普没事吧？"他的目的是通过这种不急不躁又锲而不舍的方式，让基普的朋友们提醒他该掏腰包了。

基普反驳说："奥斯特里克肯定记错了。2000年1月1日，我输掉了这场赌局。后来，我收到了奥斯特里克手写的、落款日期为2000年4月18日的便条：'收到你寄给我的一张令人愉悦的便条，还有一瓶品质上佳的红酒，万分感谢！我和吉姆·冈恩、博赫丹·帕钦斯基、斯科特·特里梅因以及马丁·李斯一起分享了那瓶酒。我们还为你的健康，为引力波探测，尤其是LIGO项目取得成功干杯。祝一切安好！你真诚的朋友，耶利米。'"

同耶利米·奥斯特里克一样对LIGO项目感到非常恼火的天文物理学家大有人在。奥斯特里克特别提出，LIGO项目有不合理的地方。《天文学与天体物理学十年调查报告》的宗旨是就未来10年美国应重点资助哪些天文学和天体物理学研究项目提出建议，是科学自治的一个重要表现。奥斯特里克参与了过去三期的编写工作。尽管至今仍然不清楚约翰·巴考尔是否曾经拒绝将LIGO项目收入其中，但是LIGO项目最终没有入选的确是事实。过去几十年里，所有重大项目都通过了该调查报告的审查，但LIGO项目是一个例外，这令奥斯特里克感到十分恼火。他和其他人不满LIGO项目组用资金修建那些管道，而不是用来培养研究生。

对于这个问题，基普提出了不同看法："关键问题是，为LIGO项目提供资金支持的是国家科学基金会的物理学部，而不是天文学部。所以，有发言权的只能是物理学部，而不是天文学部。

"LIGO项目通过了物理学部十年调查委员会的审查……在找到新的资金渠道之前，为LIGO项目提供资金的一直是国家科学基金会物理学

部。LIGO项目获得批准的一个重要原因是，从20世纪80年代中期开始我们组织了大量的评估活动，而且委员会的成员都是一些不讲情面的物理学家，例如理查德·加尔文。如果没有这些评估活动，国家科学基金会绝不可能批准LIGO项目的资金申请。”

一位不愿意透露姓名的批评者指出，基普出身摩门教家庭，天生就善于游说。他还认为，长大后的基普抛弃了枯燥乏味的说教和性别歧视，也不再是一名虔诚的摩门教徒，基普一直想为自己改变宗教信仰找到一个正义的理由，LIGO项目恰好是一个合适的理由。耗费巨额资金、前途未卜的LIGO项目为什么可以申请到资金呢？因为基普富有魅力，是一名高明的说客。此外，他在科研方面考虑问题缜密周到，对技术发展现状的分析与评估清楚明了，为人诚实正直、受人尊重。因此，基普说的话往往令人信服。

尽管从技术上讲，第一代LIGO探测器取得了成功，但是它们没有捕捉到任何关于引力波的信息。要想记录距离我们数十亿光年的宇宙传来的微弱声音，必须解决一系列技术难题。根据设计，高新LIGO探测器的探测距离可达10亿光年，包含了成千上万个星系。天文学家认真地估算了恒星的数量、大小和寿命，试图预测出现在探测范围内的致密双星系统的数量，从而估计到底有多少个可能的信号源。尽管目前的信号源估计数量引起了争议，悲观意见与乐观看法并存，但是信号源确实存在。无法保证的是，致密双星系统发生碰撞的地点是否在可探测范围内，以及碰撞发生时人类是否还存在。

只有造物主慷慨地提供足够多的信号源，在（一两年，而不是二三十年内）完成合理次数的科研运行，探测器才会捕捉到宇宙的声音。如果探测器在几年时间里一无所获，人们可能就不愿意继续使用它们了。同时，LIGO项目组也需要进一步证明人们的投入物超所值，也就是说，他们必须有“从事天文学研究”的能力。面对批评者的质疑，很多人焦虑不安，还有很多人不辞劳苦地做着各种计算，希望可以拓展LIGO探测器在天体物理学领域的应用。LIGO项目组还要面对众多批评者的评头论足，并向天体物理学界证明自己的存在价值。对于项目的合作者来说，棘手的问题是：LIGO项目会产生良好的收益吗？巨大的投入能否换回足够多的科研成果？

目前，LIGO探测器是唯一一种拥有引力波探测能力的机器，因此无法满足耶利米·奥斯特里克的赌约条件——至少有两个团队承认引力波已

经被成功探测到，而且这两个团队必须承认对方对探测结果的分析是正确的。然而，奥斯特里克说，如果人们可以利用望远镜完成同步探测，他也能接受。当超新星或中子星这些致密星体碰撞时，不仅会发出巨大的声响，还会发出明亮的光。现在，高新LIGO探测器已经基本建成，奥斯特里克当然感兴趣。而且，他没有任何偏见。同众多科学家一样，对于科研成果，他不会冷嘲热讽，而是欢欣鼓舞。但是，他还是与LIGO团队的一名科学家（不是基普）打了一个赌。奥斯特里克认为，他们探测到引力波，并且探测结果能被望远镜证实，这在2019年1月1日之前是不可能实现的。

在远长于人类既有历史的遥远未来（就像古戈尔普勒克斯[1]远远大于138亿一样，宇宙138亿年的历史与未来岁月相比，也是微不足道的），宇宙中的所有恒星都将死亡，那些符合条件的恒星会坍缩成黑洞。宇宙万物都会被吸进黑洞，然后一些黑洞会被质量更大的黑洞吸收，再然后宇宙中的所有黑洞都会蒸发，产生霍金辐射。整个过程将会耗费非常长的时间。（“永恒是很长的时间，特别是对尽头而言。”）目前，我们生活在地球上，天空非常明亮，似乎听不见宇宙的任何喧嚣声。所以，这次的赌局是：太空并不是那么安静。

---

[1] 古戈尔普勒克斯等于10的古戈尔次方，1古戈尔等于10^{100}。——译者注

第13章
罗生门事件

Rashomon

1987年，罗纳德·德雷弗已经接受了三巨头组合解体并代之以罗克斯·沃格特为项目负责人的层级结构的事实，因为他别无选择。当然，在此之前，他多次飞到华盛顿，向美国国家科学基金会的里奇·艾萨克森哭诉自己的委屈。但是，艾萨克森没有松口，而是耐心地告诉罗纳德：要么接受沃格特作为项目负责人，要么结束这个项目。（据基普称，艾萨克森说这番话时“不留一点儿余地”。）

罗纳德说，在沃格特刚上任时，尽管沃格特对组织结构进行了调整，而且毫不遮掩他难相处的个性，但是罗纳德的心情却没那么糟糕。总体来说，项目的运行更加专业、有效，而且资金充裕。刚开始，罗纳德觉得沃格特“还不错”，尽管他有时也会因为自己的建议没有被立即采纳而感到生气。在整个项目组中，似乎只有沃格特可以同美国国家科学基金会直接交流。（其他人认为这个说法有点儿夸张，比如他们也曾派人给基金会做项目演示。）慢慢地，罗纳德觉得自己的影响力正在减退。他抱怨说，沃格特严格控制信息的流通（这是罗纳德自己的感觉，其他人，例如基普，就没有这种感觉），导致其他团队成员都难以全方位地了解项目的运行状况。罗纳德担心，撰写申请报告会阻碍科研工作取得进展。由于罗纳德讨厌这类书面工作，基普只好参与其中，撰写了大量文字材料，也产生了一些新的矛盾。罗纳德批评说，有些说法（尤其是在机器性能评估方面）过于乐观、自信。罗纳德觉得基普可能会认为他大惊小怪，生他的气。罗纳德事后想，矛盾肯定是在他没有意识到的情况下产生的。

1991年，斯坦利·惠特科姆就任项目副主任，成为罗克斯·沃格特的助手，还兼任治疗师。1980年，斯坦利成为设计LIGO探测器的第一批实验人员之一，但是，在当时看来这个项目充满变数，如果留在项目组，他的学术生涯将前途未卜。于是，1985年，他接受航空业猎头的邀请，离开了LIGO项目组。（有人认为，他之所以离开，是因为他与罗纳德的关系比较紧张。）他告诉我，在实验室里修修补补、埋头创新给他留下了非常愉快的记忆，所以后来他又回到了项目组。20世纪80年代初，项目组只安排了三四个人在实验室里从事研发工作。每个人都清楚自己的职责，所有的工作都是手工完成的。1991年，他回到项目组，并担任副主任。这时候的项目组表现出乐观的发展态势，但是严谨性有余，探索性不足。据斯坦利称，沃格特是一位严厉而高效的项目负责人。在三巨头组合时代，“酷爱分析的雷纳与直觉能力惊人的罗纳德”势如水火，而沃格特接手之后，所有人都可以有效地开展合作。但是，罗纳德·德雷弗与罗克斯·沃格特无法友好相处。

现在，准备工作已经全部就绪，LIGO项目可以启动了。在这之前，行业研究花了三年时间，起草那份条理清晰的申请报告花了一年多时间，与国会博弈又耗时两年，团队的耐心毫无疑问已经耗尽。接下来就是他们与自然、人类与周围环境之间的博弈了。随着对信号源存在的信心不断增强，项目组越来越关注黑洞和中子星，希望可以取得重大突破。但是，在与外部的博弈取得节节胜利的同时，沃格特开始着手处理之前不敢轻易触碰的内部矛盾。即便是微不足道的内部摩擦，如果处理不好，也会让人产生如鲠在喉的感觉。

在接下来的日子里，尽管团队主要人物在重大问题上看法一致，但是他们的具体表现却大相径庭。对于其中的冲突，很多人三缄其口。人们有所保留是有原因的，其中之一是他们不愿意公开批评罗纳德，因为罗纳德似乎拒绝接受批评，哪怕是善意的批评。1997年，雪莉·科恩为准备一部加州理工学院的口述历史作品，做了大量的采访工作。根据她的录音资料，罗纳德在接受采访时口若悬河地谈论了他本人对那些冲突的看法。我采访过一些在LIGO项目组占据重要地位的科学家，在我的再三请求之下，有的人发表了自己的看法。他们对事件的描述几乎一致，但是与罗纳德的说法有出入。而且，几乎所有人都要求隐去姓名。

以下是罗纳德的观点，是我根据1997年的录音资料整理出来的。他说，他们两人的矛盾开始于20世纪80年代后期，当时罗克斯·沃格特是

LIGO项目的负责人。在团队的周例会上，沃格特开始攻击罗纳德，他可能没有表现出敌意，但是他的批评显然不是出于善意。“他还指责我的研究方法不科学，这让我尤其无法忍受。”罗纳德认为，他在英国学到的那些技术得益于欧内斯特·卢瑟福的影响。他喜欢在不影响结果的前提下走捷径，省去一些不相干的细节，因此很多实验进展迅速，这种做法不应该被错误地定义为不严谨。毫无疑问，罗纳德发明的一系列有独创性的实验技术，以及他做出的高明、新颖的设计，在现在的引力波探测器中仍然发挥着非常重要的作用。他不满地辩解说，他的那些方法使团队的研究取得了进展，工作效率比传统的团队快一倍，而且需要的资金更少。在他眼里，其他科学家都属于传统型，不能像他一样在一番苦思冥想之后就取得重大突破。罗纳德·德雷弗的工作风格显然是沃格特无法理解的。

罗纳德接着说道：“我每次都采取不起眼的措施，然后就能发挥作用。沃格特说：‘他是碰巧了。’其实，我从来不指望碰巧。我的直觉非常厉害，真的非常厉害……但是，我发现这很难解释得清。他越来越反感我，我也不知道为什么会这样。”

沃格特在周例会上的攻击让罗纳德不安，也困惑不解。由于不知道该怎么办，他通常呆坐在那里，一言不发。随后，沃格特解除了罗纳德实验室负责人的职务。“我感到无比震惊，至今记忆犹新，当时我差点儿崩溃了。”

加州理工学院与普林斯顿大学的荣休教授彼得·戈德莱希回忆说：“有一次，罗纳德告诉我：‘太糟糕了！太糟糕了！’原来，沃格特经常冲他大吼大叫。我问他：‘他冲你吼叫的时候，你为什么不走开呢？’罗纳德说：‘我可以走开吗？’我告诉他：‘当然可以，你是教授啊！’……我真不敢相信，罗纳德竟然这么天真！”

当初，戈德莱希是支持由罗纳德·德雷弗掌管LIGO项目组的教授之一。他说：“我与罗纳德接触过几次，他显然是一个非常有趣的家伙……他不懂人情世故，一门心思地钻研物理，而且直觉敏锐……根据我以往的经验，沃格特可能会无缘无故地憎恨某个人，而且他善于取得人们的信任，让他们认为他鄙视某个人是有道理的。我非常不喜欢沃格特这样做……我觉得，罗纳德遭遇到那些麻烦，我是有责任的。”

1997年1～6月，雪莉·科恩对罗纳德进行过5次采访。第三次时，罗

纳德还是不停地兜圈子、老生常谈，最后终于谈到了最紧要的内容。雪莉似乎已经被拖得筋疲力尽，希望尽早结束这次采访。罗纳德笑着说道：“接下来，我告诉你我是怎么被踢出项目组的。”就在这时，只听见“咔嗒”一声——磁带的第二面录满了，之后关于被解雇的过程又录了整整两盒磁带。

罗纳德承认：“我在阅读方面有点儿问题。”由于他不善于领会信息，因此他希望开会时可以录音，以便会后回顾会议内容，但这遭到了沃格特的拒绝。据罗纳德回忆，在一次极为反常的会议上，沃格特为他制定了两条规则。“第一条也是最奇怪的规则是：我和沃格特不能同时出现在一个房间里。他当时就是这么说的。”两个当时在场的人做了书面记录，从他们的记录看，这条规则看上去正常一些：如果罗纳德出席周例会，沃格特就会退席，例会就会取消，耽误工作进度的责任就要由罗纳德承担。“第二条规则大致是这样的：我不可以使用LIGO项目的任何设施，包括复印机、电话等。”多年之后，在回想起这件事时，罗纳德仍然像当初一样迷惑不解，甚至觉得哭笑不得。“我觉得那次会议实在太奇怪了。随后不久，阿根廷的那次会议就召开了。”

罗纳德被禁止在其他任何会议上、大学里介绍他的研究。由于心中放不下这个项目，罗纳德忍受着痛苦、焦虑的煎熬，在大多数时间里都循规蹈矩。“我不知道这个国家奉行什么样的规则。我发现，我之前的那一套在这里完全行不通。在我的祖国，这样的情况绝不可能发生。还是算了吧，是我没有搞清楚这里的规则。”

只有一次例外情况，却导致了灾难性后果。事情的起因与在阿根廷召开的一次会议有关。1992年，罗纳德打算与他在格拉斯哥大学的同事布莱恩·米尔斯合作，展示他的研究成果。米尔斯在分析了罗纳德的一些想法之后，提出了让激光在干涉仪中循环传播的建议。（据当时在现场的人回忆，罗纳德与米尔斯的合作跟他说的有些不同。他们说，罗纳德不愿意接受年轻的米尔斯提出的建议，而且米尔斯在提这些建议时的坚定语气让罗纳德十分恼火。）就在他们准备合作撰写一篇论文时，米尔斯死于一次爬山事故。“这个消息让很多人感到难过，当然我也不例外。我们都喜欢他，但他却离开了我们。”罗纳德产生了一种紧迫感，他的意思是，米尔斯的悲剧迫使他不得不在1992年的阿根廷会议上介绍他们俩的合作成果。尽管沃格特禁止罗纳德介绍自己的成果，他还是这样做了。

罗纳德回到加州理工学院的当天，就被踢出了项目组。

解聘通知书的落款是加州理工学院管理层，而不是沃格特。1992年7月6日，罗克斯·沃格特签发了一份备忘录，告知LIGO项目组的全体成员和加州理工学院的部分教职工，罗纳德·德雷弗不再是LIGO项目组成员。他必须在LIGO团队成员的陪伴下，才可以从他在LIGO项目组的办公室里拿走他的私人物品。

在罗纳德的内心，一股难以名状的愤懑之情悄然滋生，不仅影响了他未来的生活，还给他既往的时光蒙上了一层阴影。罗纳德原以为在LIGO项目组的前5年里，自己的工作还是比较顺利的，但是现在回想起那些日子，他觉得其中也有阴谋诡计，而之前他完全没有察觉。他从人们的风言风语中了解到，在那5年里，沃格特已经先发制人，向学校管理层投诉他了。罗纳德认为，沃格特此举的目的就是意图毁坏他的名声。

也许沃格特希望罗纳德辞职，回到格拉斯哥大学。换作其他任何一个更传统、更敏感的人，沃格特的愿望早就已经实现了。但是罗纳德的心性不同于常人，他对这种常规的打压手段有极强的耐受力。显然，在沃格特施压之后，罗纳德的第一反应不是愤而辞职，而是在平静接受的同时感到迷惘。对罗纳德来说，生活的意义在于工作，在于实验，在于把自己的奇思妙想变成现实。LIGO项目就在加州理工学院，除了LIGO项目，他别无所求；除了加州理工学院，他哪儿都不想去。

一天，连通他与秘书办公室的那扇门被堵上了。不是被锁上了，而是被封死了。建筑工人离开之后，那扇门就看不见了，只在墙上留下一个模糊的印记。罗纳德指责工人们的活儿干得很糙。他的秘书搬走了。（去了哪里？地下室吗？）罗纳德只能在心中默默地想：“太让人难受了！”

罗纳德说：“之后，有人通知我别再来上班了。”说到这里，他的语速变得很慢，流露出伤心、怀疑的情绪。有谣言称，在罗纳德办公室的锁被人换掉之后，彼得·戈德莱希从窗户爬了进去，为罗纳德打开了办公室的门。但是，这只是一个传言，戈德莱希也不愿意证实这件事。戈德莱希说：“后来……我收到了沃格特签发的备忘录……这一回，我真的生气了。”我问他是否真的爬窗户了，他朝我摆了摆手。他的意思不是说这已经是陈年往事了，而是表明他仍然愤怒难平。“沃格特认为，他是项目

负责人，是保证研究取得进展的发动机，但是罗纳德这个无用的矮胖子却打算抢他的功劳，甚至还有可能获得诺贝尔物理学奖。我认为这是让罗纳德最不能容忍的事。当然，正因为沃格特有这样的毛病，没有人会对他心存感激……我真的无法理解沃格特为什么要这样做，因为所有人都很尊重他。所以，我后来劝说，沃格特应该辞职，因为他肯定会被辞退的。这是他无法逃脱的下场。”

沃格特说，罗纳德“四处打电话，说我精神错乱，说我领导建造的探测器根本没用”，至此，冲突彻底爆发了。（罗纳德明确地否认了沃格特的控诉。）

雷纳·韦斯没有刻意隐瞒自己的观点，他说：“罗纳德变成了项目组中不受欢迎的人。他被沃格特禁止参加会议，这项决定实在是过分了。加州理工学院的教授们都很担心，认为LIGO项目离不开罗纳德。大多数教授都认为罗纳德是一个了不起的天才，就连基普也这样想。但是，沃格特却没有对天才加以保护，以至于天才牢骚满腹。”

罗纳德说：“所有事都让我摸不着头脑，真是太奇怪了。”最后，在为数不多的盟友的鼓励下，罗纳德开始为自己受到的不公正对待提出申诉。学术自由与终身教职委员会是一个不受加州理工学院管理层领导的重要机构，它受理了他的申诉。在提到委员会的报告时，罗纳德说：“从根本上看，这份报告是对我的一个强力支持……它客观公正地陈述了我的悲惨遭遇……我的学术自由遭到了侵犯。”但是，几年过去了，情况没有任何改变，罗纳德仍然不受项目组的欢迎。他甚至“不敢”走进LIGO总部大楼。

令人难以理解的是，罗纳德竟然希望LIGO项目组同意他恢复原职。一次，一个有外部人士参加的监督委员会召开了一个会议，罗纳德计划在会上做一个科研提案，而沃格特也准备做一个提案。委员会将根据科研价值，在他们两个人的提案中做出取舍。但是，当罗纳德走进会场时，沃格特的支持者接二连三地站起来，对罗纳德进行人身攻击，这令他感到十分沮丧。罗纳德说：“这些人曾经都是我的朋友。”他的语气很沉重。

当然，关于这件事，也有不同的说法。那些愿意匿名发表评论的人几乎众口一词，也让罗纳德的陈述显得与他们不同。我在这里匿名引用他们说的一些话：“在沃格特成为项目负责人之前，罗纳德已经与LIGO

项目组的大部分成员产生了隔阂，在随后几年里，这种隔阂越来越明显……他与项目组其他成员的隔阂是多个原因造成的，其中包括他希望将研发工作完全置于他一个人的掌控之下。他让其他科学家给他当助手，却不愿意与他们分享权力。”“罗纳德矢志不渝地坚持所谓的‘非标准研究策略’……他依靠的是自己的直觉，而不是分析能力，他不愿意使用系统的方法，他也没有这样的能力……1988年全年和1989年年初，沃格特希望推行更标准的系统研究方法。罗纳德百般阻挠，不愿意团队成员使用这些系统方法。”“罗纳德缺乏条理性，在做决策、解决问题、按时完成任务等方面表现极差。对于一个多人合作的系统性研究项目来说，如果负责人有这些缺点，就会产生严重的负面影响。”“沃格特采取了有力措施，希望项目处于自己的掌控之下……这些举措引起了罗纳德的反抗，但是他没有光明正大地表示反对，而是利用各种伎俩，在背后‘捣乱’。这让沃格特非常生气，于是他采取了一些罗纳德所谓的不正当措施。”“封堵那扇门是沃格特制订的对秘书办公室进行改造的计划的一部分……在实施之前，改造方案以及封堵那扇门的安排，都已经与罗纳德通过气了。显然，罗纳德忘记了这件事。”“给罗纳德办公室换锁也是沃格特要求的，目的是防止罗纳德指责他（沃格特）进办公室拿东西……换锁的事征求过罗纳德的意见……他可以拿到新钥匙。有一天，罗纳德来到办公室，发现自己没有办公室钥匙，这显然是因为他忘记那次谈话内容了。”“罗纳德宣称自己有25项学术自由遭到侵犯，但是学术自由与终身教职委员会的结论是，只有两件事对他的学术自由构成了侵犯。”“如果我说没有人受得了罗纳德，这应该不算诽谤。”

这件事持续了很长时间，人们称之为“罗纳德事件”。雷纳说：“罗纳德和沃格特都特别看重忠诚这个品质。没错，‘忠诚’这个词非常恰当。你是站在我这边还是反对我？罗纳德不断质疑沃格特在技术方面做出的决定，沃格特则认为自己不只是一名管理者。如果你说他是一名管理者，我想他肯定会大发雷霆。（他会告诉你：）‘我是物理学者，同其他人一样，我也擅长思考问题。’在这个问题上，我尊重他的看法，因为他是一个聪明人。但是，罗纳德不会认同他。我认为，他们最后搞得那么僵，这可能是最根本的原因。在罗纳德的影响下，沃格特感觉自己低人一等，这是沃格特无法容忍的。”

雷纳接着说道：“突然之间，我们发现项目组分成了水火不容的两派。与此同时，我们的工作出现了不可原谅的过错。这个过错就是我们的项目停滞不前了。”

最终的冲突发生于1994年。“当时，我们刚刚启动与芝加哥桥梁钢铁公司签订合同的一些项目。他们负责修建那两条管道，我是这项工程的科学顾问。美国国家科学基金会派了一个人出席项目启动仪式。结果，沃格特在公开场合对这个家伙发了一通火，导致项目陷入了困境。

“沃格特认为基金会的那个家伙问了一个有敌意的问题。但在我看来，那个问题合情合理。但是，沃格特发火了，激烈程度前所未有。身材高大的沃格特面红耳赤，气冲斗牛。他对着基金会派来的那个矮个子家伙喊道：‘你有什么资格这样问？你给我闭嘴！’

“芝加哥桥梁钢铁公司的总裁和工程师面面相觑，心中暗想：这个家伙肯定是疯了，竟敢冲着美国国家科学基金会的人大吼大叫！要知道，钱可是捏在人家手里呢。他到底想干什么？我记得，从那时起，我就和沃格特断绝了关系。对我来说，这是一个非常艰难的决定，可能是我有生以来做出的最艰难的决定。我真的认为我伤害了他。

“我说：‘你惹了大麻烦了，我再也无法保护你了……现在，是你离开项目组的时候了。虽然不情愿，但我还是要告诉你，你已经完成了你的使命。’此后，沃格特的心情无比沮丧，好像随时会死去。他脸色苍白，无精打采，整个人就像一具行尸走肉。我们一起坐在车里，谁也没有说话。

“下车后，我说了一句：‘对不起，沃格特。’

“因为各自要赶飞机，所以我们就此别过。在我朝外面走去的时候，他对我说道：‘你在看问题时老是出错。’”

斯坦利回忆说：“当时，北岭正好发生地震了。”他向我保证：“真的只是巧合。但是我记得我们那时正在华盛顿向国家科学基金会乞求资助，但被骂得狗血淋头。那天早晨，电视新闻报道了北岭地震的消息。”

当时，雷纳也在华盛顿参加一个会议：“国家科学基金会对沃格特进行了质询，现场的气氛令人害怕。沃格特做错了一件事，那就是他试图为自己的决策做出辩解。他告诉基金会，他为什么开除罗纳德，为什么死守着那些钱，为什么不愿意为项目组办公室安排更多的人手，等等。结果，基金会置若罔闻，直接向他宣读了调查委员会的报告。沃格特坐在那里，一动不动，像一座石雕。这件事就这样结束了。”

在为罗克斯·沃格特辩解时，基普详细介绍了项目组在沃格特领导下取得的重大成绩。沃格特让研发工作变得系统化，提高了团队的效率，并帮助他们在探测器零部件的设计与制造工作上取得了进展。他几乎凭借一己之力，为LIGO项目制订了一个恰当的研究计划。他对选址以及真空管道的设计工作进行了把控。在项目组遭遇几何光学和激光等方面的难题时，他果断地做出了一些重大的决定。他为改良第一代探测器的具体设计创造了便利条件。此外，他确保了LIGO项目审批的全过程（包括检查评估、国会听证）不出纰漏。在沃格特的努力下，整个项目组团结一致，为追求一个可以实现的目标而奋斗。

回顾往事，沃格特耸耸肩膀说道："那时的我就是一个赌徒，相信自己一个人就可以把探测器建造出来。"沃格特自己也意识到他是受名声所累，因此在我们的交谈进行到第5个小时的时候，他半是辩解半是忏悔地说道："我之所以犯那些错误，一部分原因在于我当时接收到的信息。"在重点强调了第一个原因之后，他又微笑着说出另外一个原因："另一部分原因在于我的性格特点。"

作为项目组曾经的核心人物，罗纳德·德雷弗被解雇之后，加州理工学院给了他大约100万美元的资金和一处场地，供他完成自己的研究，组建一个新实验室。由于设施不足、位置欠佳、很难整修，这个实验室从一开始就是一个麻烦。1997年，罗纳德的实验室仍然没有建成，甚至还有一些资金没有到位。在华盛顿州和路易斯安那州的两个LIGO探测器场地大兴土木时，他只能当一名心情沮丧的看客。在谈到他能做的那些小型实验时，他说他有"一种非常强烈的感受，觉得这些实验只能排在第二位，比不过真正意义上的引力波探测实验。我觉得，某些我无法理解的原因妨碍了我，甚至是逼迫我，让我不能在那个实验中做出自己的贡献……我情不自禁地想……我本来可以做更多的工作，甚至可以继续留在LIGO项目组里"。

雷纳说道："这一段插曲是LIGO项目中不尽如人意的地方。罗纳德·德雷弗是一个悲剧。从那以后，沃格特和罗纳德都没能东山再起。没有人希望这样的事情重演。不幸的是，这段往事已经被记录下来了。但是，你不一定非把它写进你的书中。"

第14章
利文斯顿天文台

LLO

杰米的童年是在亚特兰大度过的，他说话时还带有一丝南方口音。他在新奥尔良机场接上我，开车前往距离巴吞鲁日市更近的利文斯顿激光干涉引力波天文台。我们一路上游览了河口，欣赏了密西西比河的风光，杰米还为我简要介绍了高新探测器的安装情况。不知不觉中，之前在道路旁流淌的密西西比河已不见踪影。等到明白过来，才发现我们已经错过路口一个小时了。

引力波天文台位于利文斯顿县，比巴吞鲁日市远一点儿。从建筑风格看，华盛顿州的引力波天文台与路易斯安那州的引力波天文台是两栋非常相似的建筑。一眼望去，它们的外观几乎一模一样。这里的设备安装负责人布莱恩·奥赖利操着一口爱尔兰本地腔，给我讲述了一件趣事。汉福德天文台在关闭前门时跟利文斯顿天文台不一样，后者会锁上双开式弹簧门的另外一扇门。因此，他每次去汉福德，开门时拉的总是锁住的那一扇。

但是从文化上看，这两个天文台有明显的不同之处。利文斯顿天文台使用了美国南方特有的漆，他们提醒我："这里是路易斯安那。"使用这种漆，是一个阿根廷人、一个爱尔兰人和一个奥地利人共同提出的建议。科学家们来自不同的地方，这是学术界的一个典型现象。但是，技术人员、控制室操作员和辅助人员主要是路易斯安那人，这也是利文斯顿天文台具有南方色彩的一个重要原因。

布莱恩·奥赖利与迈克尔·兰德里分别在两个天文台负责同样的工作。尽管他们希望两个天文台使用相同的仪器，但是由于这些仪器本身都异

常复杂，因此不可能做到一模一样。分别位于美国大陆两端的两个天文台需要存储、检索、同化、共享的数据庞大，包括：驱动系统、隔音、隔震、压缩光与激光的稳定性，模式清理，直流与射频输出，亮斑与暗斑，真空系统，液压系统，冷却系统，控制系统等。我在想，他们当中不会有掌握所有知识的通才吧？当然有，斯坦利·惠特科姆就是一个通才。（说到斯坦利，布拉金斯基的评价是："他是一个不错的家伙，是一个优秀的实验员，性格细腻温和，头脑聪明，受过良好的教育，善于处理公共关系。毫无疑问，他是一流的实验员。"）但现在，斯坦利负责其他重要工作，包括在印度激光干涉引力波天文台任职。

如果你让这里的人闭上眼睛想一想并实话实说，在探测器出故障时他们会找谁，他们告诉我是莱纳。莱纳·阿迪卡里是在佛罗里达长大的，他的父亲是NASA的工程师。他还记得他上六年级那年"挑战者"号航天飞机爆炸的情景。当时，他和其他孩子正在佛罗里达的学校操场上玩耍。一抬头，就看到蓝色的天空被"挑战者"号爆炸的火光照得一片白，随后残骸的碎片纷纷落下来。孩子们莫名其妙地看着那些火光，然后接着玩耍。他们的老师却失声痛哭起来。

我目不转睛地盯着莱纳。杰米说："他可是一个名人呢。"在一定程度上，莱纳的魅力来源于他在社交场合一贯的冷酷。然而，他并不是对所有事物都漠不关心。他在听别人说话时，有时候会表现出不感兴趣的样子，反而给人一种冷酷的感觉。交谈时，他偶尔也会对其他人说的话发表一些评论，通常是一些温和的嘲弄。他的声音悦耳动听，语气平和，你以为他是在表示赞同，但随后你就会发现他是在嘲笑你。莱纳非常不善于批评人。我敢打赌，在批评手下人时，他仍然会轻声细语，而不是恶言相向，仿佛因为给了别人一个不好的评价而让他自己感到很难过。

莱纳之所以在社交场合如鱼得水，原因之一就是他的冷酷。他不关心外界对他的评价，他也不需要你的青睐，因为他非常自信。我怀疑正常人不大可能如此自信，但是他的自信有着强烈的感染力。总体而言，我觉得随着他的年龄增长（目前他30多岁），他给人一种睿智、朴实的感觉，即使他说的某些话让人难堪，人们也会接受，同时心怀感激。

莱纳善于摆弄那些复杂装置，可以让探测器自动恢复正常。探测器有多个自动反馈渠道，可以自行查找问题，然后做出决策。我问他，是不是人们都知道他在摆弄这台机器方面有自己的一套，他郑重其事地点

点头，表示同意。他解释说，对于这台机器的每一个元件，他都了然于胸。他只要想一想各种可能出现的问题，就能做到心中有数，而不用坐到桌边、打开电脑、掏出纸笔，进行几个小时的计算。他没有时间进行这种慢条斯理的计算，他只能做出一些假设，思考如何让机器正常工作，然后大致判断机器能不能修好。他担心有朝一日他会彻底失去这种能力，但是现在，随着高新探测器安装工作的稳步进行，他觉得一切又回到了他的掌控之中。就连LIGO项目发言人加布里埃拉·冈萨雷斯都说："是的，只要莱纳在旁边，探测器的性能就会稳定一些。"

我给他发了一封邮件："莱纳，我两周内要去利文斯顿一趟，你有时间跟我见面吗？"

"该死的旅程！我刚从印度和澳大利亚回来。我再也不坐飞机了……至少在我走出连续16个小时飞行的阴影之前，我不会坐飞机了。等我跟路易斯安那州的那些法国人办好手续，就会回来找你。"

莱纳的眼睛很大，黑色眼珠，有着南亚次大陆居民的典型特点，始终给人一种炯炯有神的感觉。他的嘴上留着两撇短短的胡子，仿佛在嘲讽什么。到了利文斯顿天文台之后，莱纳问起我上次来访的情况："他们跟你说过那些鲈鱼吗？""没有啊。""那你不是白跑了一趟吗？"

新的LIGO干涉臂包上水泥防护层之后，在沼泽地里会下沉。因此，他们要先清除管道下面的泥土，再把管道垫起来。结果，便道两边就形成了两条壕沟。由于是在沼泽地里，壕沟很快积满了水，水里又出现了大量鲈鱼。然而，没有人知道这些鲈鱼是从哪里来的。我试探着找出一种可能：一阵狂风裹着鱼群，跌跌撞撞地在经过LIGO探测器上空时丢下那些鱼，然后彻底消散。这是我在电影《木兰花》（*Magnolia*）的启发下想到的一种可能性。我听过一些传说，称龙卷风走廊上的牛被大风刮到牧场以南3英里的地方，有的牛死了，有的则安然无恙。莱纳告诉我，有越来越多的人认为，鸟儿从泥地里飞起时，脚上沾了鱼卵；等它们飞来这里，那些鱼卵掉进了沼泽地的沟渠里，然后孵化成鲈鱼。他觉得我的解释与这个说法都有道理。考虑到没有人在雨后的沟渠旁边看见死鱼，我觉得我的解释可能找不到证据，正确的可能性很小。

刚开始听说这些鲈鱼时，莱纳根本不相信。于是，一名工程师徒手抓住了一条。他用手指头扣着鱼鳃，走进实验室来到莱纳面前。莱纳看到那条活蹦乱跳的鲈鱼时，不由得吓了一跳："你在干什么？赶紧把它拿

出去。”那名工程师不敢相信莱纳竟然是这种反应，赶紧说道：“那我把它放回去。”

莱纳告诉我：“那里还有鳄鱼呢。他们有没有告诉你那里有鳄鱼？那你岂不是白跑一趟吗？”

听说了这些趣事之后，我才第一次留意到门厅里有一个软木公告板，上面醒目地贴着几张照片。照片上的人（有男也有女）要么用手指勾着一条鲈鱼，要么站在泥泞的堤坝上摆拍，身后的水中有一只若隐若现的鳄鱼。

莱纳带我爬上屋顶，在那里可以更好地看清四周的景色。他说：“你看，前面那些树排得整整齐齐的，你知道是怎么一回事吗？那是惠好木业公司的功劳，他们砍掉了原来的树，又栽下了这些树。”

对于有史以来对地震最敏感的探测器来说，有一家木业公司在这里砍伐树木可算不上一个好消息。在经过一年的调查研究之后，他们在I–12号公路沿线安装了地震仪，用于检查附近工业管道的布设情况，为第一代探测器的投入使用做准备。但是，他们探测到一种特别明显的噪声，却无法辨别这些噪声从何而来。整整一个夏天，他们都在苦苦追寻噪声源，却毫无收获，所有人都十分沮丧。一天早晨6点，雷纳开车来到利文斯顿天文台。看到道路两侧那些被砍倒的树木时，他突然意识到了一个糟糕的问题。他冲进控制室，让那名操作人员到室外进行观察。雷纳告诉他：“当有树倒下来的时候，告诉我一声。”原因终于找到了，“只要树‘轰’地一声倒下，我们就能从地震仪上看到那个信号。”在选址的时候，他们当然也知道这里有惠好木业公司，但是不知道出于什么原因，他们严重低估了砍树的声音。为了保证实验可以正常进行，雷纳希望从惠好公司手中购买更多的土地。但是，惠好的要价太高（或许高达数亿美元吧），因此他们只能从技术上解决这个问题。后来，实验室精心设计出一套液压系统，用来保护那些反射镜。他们原本计划将这套系统应用于高新探测器，但是为了解决伐木噪声的问题，第一代探测器就安装了这套系统。

总的来说，利文斯顿天文台给人的感觉远没有汉福德天文台那么偏僻。在通往天文台的那条路上，一个铁路道口的一侧很突兀地立着一些破房子。这些房子呈八字形，外宽内窄，还能看到一些儿童玩具散落在屋子里。具有讽刺意味的是，道口栅门变成了这个社区的大门。这些房

屋已经破败不堪了，尽管还没倒塌，但是破碎的木板条之间已经长出了丛丛灌木。那天上午，加布里埃拉·冈萨雷斯开着她的敞篷汽车，载着我前往天文台。对于天文台的“邻居们”，她也有点儿头疼。

我说：“我听说终端站遭到枪击了。”加布里埃拉认为我有点儿夸大其词：“好像发现了一个弹孔，可能只是意外吧。”

我本来就没有考虑过这是一种故意行为。

“当然，也有人认为这次枪击是一个警告，但是谁知道这到底是怎么一回事呢。不过，我们同狩猎协会碰过头了，问题似乎已经解决了。猎人们都知道住在这里的是一些科学家。”加布里埃拉笑了笑，意思是让我放心。我回了一个假笑。我的假笑往往很假，因此我很少这样做，但我希望用这样的方式告诉她无须为我担心。我觉得，我们的笑都起到了作用。

回到控制室，我发现里面的人比平时多，大家挤在一起正在看着显示器。今天，他们打开了终端站通向x臂的闸阀，然后沿着干涉臂朝着4 000米外的反射镜发射激光。几个小时之后，显示器上出现了一个圈在黑框里的脉冲光团。这件事比较重要，但是不会让人感到紧张，因此屋子里的气氛非常安静、克制。再过不到一年时间，他们就会朝着y臂的反射镜发射激光，然后把两条干涉臂都锁上。那才是一件大事，因为它代表探测器正式投入使用。应该打开香槟庆祝一番，然而，他们还需要再等几个月，甚至几年，才能为真正的引力波探测做好准备。其间，他们的任务是降噪，但是噪声常常不可预测，而且难以控制。

进入角落的那间大实验室，从一段相当坚固的金属楼梯爬上去，可以看到一个天桥。沿着天桥另一端的楼梯下去，就可以跨过其中一条干涉臂，进入面积巨大的实验室内圈——由角落里的几个房间以及呈L形排列的两条干涉臂的交点围成的一个区域。但是，实验室的常客都不会走那个拱桥，而是从管道下方的那排低矮的类似于手术台的金属桌子上爬过去。我想问这个传统是如何形成的，但还没来得及开口，布莱恩·奥赖利就已经手脚并用爬到了管道下方，然后用顽皮的眼神鼓励我也尝试一下。想把这个动作做得漂亮是很难的，但是我知道，在摇摇晃晃地爬了几级楼梯之后，你会被那两条穿墙而过的不锈钢干涉臂困住。经过一番权衡之后，我决定放弃走楼梯，选择从管道下方爬过去。

出乎我的意料，这个洞穴似的内圈里没有多少人。有的人正在固定电缆，有的人在闸阀附近，坐在管道下方忙活着什么。我不知道他们到底在做什么，但是我看到了他们脸上自信的神情。没人告诉他们该怎么做，每个人似乎都是专家，都清楚下一步该做什么。有一个人全身都包裹在防护服里，站在临时无尘室帷帘后面的一个装置上面。他是我的朋友艾丹·布鲁克斯吗？他的工作是为热补偿系统安装零部件（热补偿系统的作用是调整激光的热量对反射镜造成的扭曲效应）。但是，穿着防护服的人是很难辨认他的真实身份的，而且在这种情况下，走过去聊天显然不可行。所以，我只能再次放下身段，朝着位于干涉臂另一侧的地方爬去。

布莱恩开着车，送我去终端站。路上，他的手经过我面前指向车窗外，示意我看路旁的一个狩猎小屋。小屋是用木头搭建的，架在木桩上，里面有一只供鹿饮水的蓝色水桶。每天凌晨，猎人就躲在小屋外面，准备射杀前来饮水的鹿。

“那个弹孔并不是一个意外。”他加重了语气，“联邦调查局调查过了，这件怪事大概就这样了结了。”他一边说，一边轻轻地点了点头。我相信他说的没错，我们都没有笑。

路易斯安那州LIGO天文台的负责人乔·贾埃姆说：“那些欧洲人在看我们的笑话。在汉福德，一辆货车撞上了干涉臂，而这里又遭到枪击。他们肯定认为这是美国的典型现象。现在，我们最需要的就是找到继续坚持下去的理由。”然而，LIGO项目在全世界范围内仍然是独一无二的。（欧洲的Virgo引力波探测器还不具备先进的探测能力。）

一束电缆从终端站延伸出来，挂在终端工作间的一侧。内置的起吊装置将重物吊起来，然后放进工作间。但是，悬挂系统和反射镜的重量已经接近最大起吊能力，所以必须减掉一些重量。最终的解决方案是让人进入工作间完成组装工作和固定连接装置。工作间顶部被打开，供吊舱通行，周围的空间很小，成年人站在那里几乎无法活动。每次起吊后，需要8周时间才能关闭工作间的顶部。安装完毕、撤回人员、清除蜘蛛之后，终端工作间就会被抽成真空状态，通向干涉臂的闸阀随后就会被打开。

由终端站返回时，布莱恩·奥赖利兜了一个圈，来到y干涉臂的中段工作站。一组建筑工人把面罩挂在脖子和耳朵上，伸着双腿，坐在便道

上休息。从早晨开始他们就在这里工作了，负责从干涉臂里掏出隔离材料。y臂的某个地方出现了渗漏，他们已经花了好几个月的时间，但还是没有彻底解决这个问题。不过，他们已经找到问题的症结了。原来，隔离层里滋生了黑寡妇蜘蛛和棕色隐遁蛛。要彻底解决这个问题，就必须把隔离层去掉。在主楼里，我们是从这根不锈钢干涉臂下面爬过去的。现在，布莱恩让我走进混凝土保护层，看看与里面的一段干涉臂。由于没戴防护面罩，他很快又把我叫了出去，管道里的空气有一股很大的霉味儿。我们离开时已经是中午了，我一只脚踏在路易斯安那州明亮温暖的土地上，身体其余部分仍然留在阴冷黑暗、气味难闻的管道里。这时候，我发现我能看到两公里之外管道另一端的一团亮光。我的脑海里浮现出雷纳·韦斯在管道里行走的情景。在探测器建成之后的几年时间里，他是进入混凝土保护层、沿着干涉臂行走的第一人。他的手在探测器的不锈钢外壁上划过。借着手电筒的光柱，他看到了那些茫然不知所措的害虫和蛇，他一下子就明白了。在他走到管道尽头的亮光处之前，他从未想过，这条4 000米长的不锈钢管道一直在承受尿液和氯的腐蚀作用。我默默地想：“希望他那时戴面罩了。”

在第二任LIGO项目负责人巴里·巴里什的领导下，两个天文台的建造工作于20世纪90年代中期开始了。在罗克斯·沃格特被解雇后不久，加州理工学院院长问他：“我该怎么办？”

沃格特建议：“他们刚刚取消了超级对撞机项目。巴里·巴里什是一位粒子物理学家，非常优秀，可以担任LIGO项目的负责人。”

超导超级对撞机项目斥资数百万美元，在得克萨斯州的瓦克沙哈契建造了一个坑洞。整个项目组摩拳擦掌，希望可以取得丰硕的成果。如果国会没有中断资金支持，加速器应该早在几十年前就发现著名的希格斯粒子了。当时，巴里·巴里什负责一个粒子加速器实验的设计工作。1993年，巴里什甚至来不及失望，超导超级对撞机项目就被叫停了。在履行了一些必要的程序之后，遴选委员会、美国国家科学基金会和加州理工学院管理层选中了巴里·巴里什，并给了他一个月的时间，让他考虑是否愿意接任LIGO项目负责人一职。“巴里什连夜做出了决定”，他告诉我，这个说法有点儿夸张，但不是太夸张。从20世纪70年代，基普在加州理工学院第一次提出引力研究实验的建议之后，巴里就一直对其学术价值很感兴趣。于是，他迅速做出了决定：“我唯一需要考虑的就是我是否确定自己可以发挥重要的作用。”

1994年，巴里什走马上任，担任一个停滞不前的项目的负责人。由于缺乏信心，美国国家科学基金会很快就会考虑停止资金支持的问题（资金支持还没有获得最后的核准）。巴里什面临两大紧急任务：其中一个任务是组建团队；另一个更重要的任务是把资金真正拿到手，而且据他估算，所需资金远远超过当初申请的金额。也就是说，一边是基金会打算终止这个项目，另一边是该项目需要更多的资金。预算金额比较低，可能是因为沃格特倾向于采用臭鼬工厂的模式，而巴里什意图建立一个更健全的管理结构。巴里什估计，这个项目需要3亿美元甚至更多的资金。

资金预算给巴里什提出了一个战术问题，他立刻就成本问题与美国国家科学基金会进行了探讨。如果预算过低是前一个阶段的问题，那么在进入新阶段之后，项目组就无须考虑这个问题了。如果巴里什没有及时与美国国家科学基金会讨论这个问题阶段，LIGO项目早就不存在了。

1994年，在基普的探测引力波的想法问世25年之后，巴里什取得了美国国家科学基金会的信任，“基普获得了他们的好评，我也起到了一定的推动作用”，修订后的预算金额提高为3亿多美元。（大部分讨论都建立在第一代探测器无法探测到引力波的基础之上。基普一再强调引力波探测很可能成为现实，他同时指出有必要开发更先进的探测器。）由于基金会承诺的资金很快到位，LIGO项目完成了华丽转身，从一个一小群实验人员挤在规模较小的校园实验室里进行的创新实验，升级为两个由众多工程师和科研人员维护的大型天文台。1991年的实验设施是一间面积狭小的研发实验室，在加州理工学院校园的一栋类似拖车的附楼里。现在，它的规模将扩大上百倍，而且一分为二，分别位于路易斯安那州和华盛顿州。因此，他们需要建造房屋、修建管道、征用土地，需要将1.8万多立方米的空间抽成高真空环境，从相关领域吸引精确测量专家，招募科学家、工程师完成管道的设计与建造，并对激光器与反射镜的生产实施监督。为了把愿望变成现实，建造出真正拥有引力波探测能力的货真价实的探测器，一个越来越大的团队紧张地忙碌起来。基普语气坚定地说道：“巴里·巴里什是一名前所未有的最优秀的大型项目管理人员。”这个观点得到了人们的普遍认可，几乎所有知情者可能都会同意基普的看法。

听说巴里什出生于内布拉斯加州奥马哈市，我想象他肯定非常自信，系着带扣的皮带，身材高瘦，走路大步流星，举止粗犷。然而，巴

里什颠覆了我头脑中的牛仔形象：“在9岁那年，我们全家就搬到了加利福尼亚。”虽然不善于寒暄，但跟他交谈还是挺愉快的。他的言语坦率，声音不大，铿锵有力。他总能迅速赢得别人的赞赏，尽管这不是他交谈的主要目的，而只是一个副产品。他的决策能力极强。巴里什的管理手段巧妙，效率极高，不仅完成了建筑物和机器的建造工作，还不断增强科研人员的凝聚力。LIGO团队在科研上的合作越来越广泛，成员包括世界各地的理论学家和互补型观察员，为高新探测器取得更多的天文学成果贡献力量。

作为大型激光干涉引力波天文台，LIGO必然会面对一些无法用传统的管理方法处理解决的新问题。例如，控制系统必须实现自动化，也就是说，原先用手柄操控的多维交互系统必须实现自动化，而且过程可以分析、再现。对于那些似乎凭直觉操控机器的人而言，加州理工学院的40米原型机给人一种望而生畏的感觉。操作扩大了100倍的机器，是不可能完全凭借在使用手柄的过程中培养的洞察力来完成的。自动化控制器必须更加结实，确保有很长的使用寿命。新颖的前沿设计必须相互匹配，以免操作时彼此冲突。由于所有的科研人员都没有接受过专门的引力波探测培训，因此巴里什从不同的领域物色各种专业人才。比如，他从被取消的超导超级对撞机项目招募到了控制系统专家。把这些人才塞进LIGO科研队伍中必然会导致一些问题，因为那些专业人员在无法亲手操控机器时会心生怨言。（杰米·罗林斯早就设计了一个复杂的自动化软件包——“守卫者”，为高新探测器配置控制回路，使机器一直处于锁定辉煌状态。）

天文台的工业设计同样具有创新性。尽管干涉仪在物理学界拥有辉煌的历史，其中被人们提及次数最多的是19世纪初的迈克尔逊–莫雷干涉仪，它证明人们一度（错误地）认为支持光传播的以太是不存在的。但是在雷纳于20世纪70年代在“夹板宫殿”建成第一台原型机之前，还没有悬挂结构干涉仪的先例。从加州理工学院40米原型机衍生出的100倍大的机器，也肯定没有先例。在科学研究活动中，还从来没有尝试过这种由小及大的方法。

他们有了一个伟大的项目和不菲的资金，又招募到了优秀的人才，接下来他们需要找到适合的场地。“一旦从国家科学基金会申请到资金，你就必须向基金会证明你知道应该怎么花这笔钱。”破土动工后，他严密关注那些土木工程的进展情况，包括门窗、房屋、管道和真空系统。反

射镜、激光器和悬挂系统的工艺水平越精细，所需的时间就越多。

利文斯顿天文台使用的是私有土地，手续比较简单，不需要像汉福德天文台那样跟政府部门打交道。根据计划，他们准备先修建利文斯顿天文台。1996年前后，他们破土动工，但不是在路易斯安那州，而是在华盛顿州。

路易斯安那州天文台的建造工作在利文斯顿县遇到了一些麻烦，利文斯顿县当时的人口大约是900人。路易斯安那州保护公民的财产权，当LIGO项目在公共土地上修建一条通往天文台的1.5英里长的道路时，当地人举行了抗议活动。此外，他们还借助宗教手段进行反对。LIGO就场地建设问题在街对面的一个小学校里召开了一个见面会，利文斯顿的居民可以自由参加。碰巧的是，极端宗教团体也举行了集会，在教区内倡导神创论。LIGO探测器的功能是记录来自10亿年前的信号，与该宗教团体的教义似乎格格不入。但是，也有人对LIGO项目表示支持。巴里什收到的第一封本地居民写的信，来自在街对面的小学校出席见面会的一名教师。她代表自己的学生，邀请巴里什到路易斯安那州开展科学宣传活动。巴里什深受触动，他开始思考自己的研究有哪些附带影响，比如政治影响，还有精神层面的影响。他知道，他的研究的影响范围已经延伸至新领域了。

[大约20年之后，仍然有人对这个天文台心存怀疑。一次，一架飞机从4 000米长的L形探测器上空飞过，准备降落在巴吞鲁日机场。这时候，飞机上的一名男子告诉坐在他旁边的乘客（这名乘客碰巧是LIGO项目组的一个科研人员），地面上的那个秘密设施是政府用来实现时空旅行的。据说，它的两条长臂可以将人分别送到过去和未来。]

由于当地人暂时接受了神创论，巴里什还意识到土地方面的政策很难撼动，因此他感到有些遗憾。他不耐烦地说道：“我们肯定会发疯的。”虽然汉福德天文台先动工，但是也遇到了一些麻烦。他们发现，建筑施工时如何排水是一个难题，为此他们只好增加挖掘的深度。美国能源部犹豫不决，不知道是否应该批准他们增加挖掘深度的请求。巴里什暗示，这里曾经是第一代核反应堆所在的位置，能源部不希望他们发现埋在地底下的氚等物质。“有的时候我也会强人所难。”他轻描淡写地说道。尽管遭遇了各种各样的困难，在世纪之交，LIGO团队终于进驻并启用了这两个天文台。

在利文斯顿天文台遭到枪击后（有人说墙上的弹孔不止一个），美国联邦调查局给他们的建议是，在天文台的外围修建掩体，砌上高墙，或者采取类似的安全措施。但是，巴里什没有照做，而是跑到当地的狩猎俱乐部，与那里的人一起吃了顿午饭。很快，问题就解决了。但是，在这之前，还有一条鳄鱼被射杀了。

至于全局性规划，巴里什对项目分两步走的建议做了一些改进：第一阶段是，2000年之后，在天文台里安装第一批探测器；第二阶段是，建造高新探测器，从2014年年底开始安装，于2015年秋启动前期科研活动。第一阶段将证明实验的前景，在不违背物理学原理的前提下“有可能”探测到引力波。（第一代探测器证明这项技术确实是可行的，但是没有探测到引力波。）在第二阶段，随着高新探测器的建成，引力波探测取得成功的“可能性会增加”。（我们翘首以待。）巴里什说道：“作为科学家，你的工作就是探索未知。作为实验人员，你的工作就是努力实现实验目标。上天可能会大发慈悲，也可能将你拒之门外……我们就是这样推动科学进步的。”

2005年，巴里什改任国际直线对撞机项目的负责人，杰伊·马克斯成为新一任LIGO项目负责人。杰伊面临的任务是为汉福德天文台和利文斯顿天文台的高新探测器寻找升级所需的资金。第一代探测器、研发费用、高新探测器升级，再加上运行开支，总金额约为10亿美元。

现在，杰伊·马克斯在项目组担任顾问，每周都会与自2011年起担任LIGO项目负责人的戴维·瑞兹共进午餐。瑞兹的性格安静随和、待人友善，他至今仍然对修修补补、钻研科学以及做实验这些有趣的事情有独钟。巴里·巴里什、杰伊·马克斯、戴维·瑞兹三个人都是非常优秀的项目负责人，在担任期间都经历了各种各样的挑战。

现在，有1 000多名科研人员和工程师正在不同的岗位上默默奉献，组成了一个跨越国界的团队。在世界范围内，还有一些与LIGO项目相似但是能力稍弱的探测器。一个主要由意大利人和法国人组成的团队建造了一个规模较小的天文台，即Virgo天文台。德国境内有引力波探测器研发设施。日本正在独立开展一些实验（TAMA项目及近期开始的KAGRA项目）。印度正在计划建造第三座LIGO天文台，但这个项目遇到了一些不同寻常的挑战——科研文化冲突与地缘政治障碍。由此可以看出，全世界的科学家正在开展一个规模宏大的合作项目，这是一项大科学研究。在遍布全球的探测器网络中，LIGO牢牢地占据了霸主地位。

所有人都在勤奋工作，希望尽早安装、校准、升级并运行高新LIGO探测器。在怀旧、感伤和十进制数字系统的共同作用下，所有人都把目光投向一个最后期限——爱因斯坦引力波论文发表100周年纪念日。

雷纳说道：“如果希望在2016年之前完成一次探测，我们就必须夜以继日地工作。我认为制定这个目标是非常必要的，因为我希望达成这个目标，为爱因斯坦引力波论文发表100周年献礼。我们必须在爱因斯坦发表论文100周年纪念日到来之前完成一次探测。

“一次成功的探测，将为这一切画上一个圆满的句号。”

第15章 一群探索宇宙奥秘的人

Little Cave on Figueroa

洛杉矶高地公园离加州理工学院不是很远。几名研究员每个星期二都会去那里喝酒，我也被邀请参加。项目组严格禁止任何矫揉造作的言行。在物理学这个小圈子里，人们对这种言行更是深恶痛绝。事实就是事实，不需要任何粉饰、渲染，遣词造句也以精简、直白为宜。这个特点淋漓尽致地体现在发给我的那条邀请信息上："我们星期二去喝酒。如果愿意，你也可以参加。"

"菲格罗亚大街上的小屋"打烊时间很晚，还免费赠送玉米面卷。尽管周围有砖墙，头上有屋顶，但还是有点儿"户外"的感觉。在这里，人们可以喝酒、吸烟。是的，吸烟，竟然还有人吸烟，这真令人吃惊。现在已经没有人吸烟了。我猜想，欧洲人应该会吸烟，欧洲人是烟草泛滥的一个原因。尽管美国人也吸烟，但对烟草的痴迷程度比不上欧洲人。

"小屋"的采光比较暗，达不到酒吧的一般标准。音乐很棒，酒吧招待身上有一种20世纪80年代朋克歌手的味道。如果真的是来自20世纪80年代的朋克歌手，那就有些可怕了，好在他们只是给人一种类似朋克歌手的感觉。尽管从那里走到火车站需要50分钟，尽管我背着沉甸甸的计算机设备，尽管物理学论文、旅行包、手套，还有因为洛杉矶夜晚温度会大幅下降而特意准备的毛衣压得我不舒服，但我还是非常喜欢这间"菲格罗亚大街上的小屋"。

一张两人桌的周围放着很多酒吧圆凳，一群科研人员围桌而坐，正在用带口音的英语侃侃而谈。我们都是这个项目的过客。人们坐在一起，总是喜欢打听彼此的人生历程："莱纳在的时候，你到麻省理工学院

了吗？”不断有人加入，或者是接受了一份为期两年或三年的研究工作，或者是读研究生，或者是抢到了一个稀缺、热门的教学岗位。同时，也不断有人离开，或者是去从事一份为期两年或三年的研究工作，或者是读研究生，或者是受到了一个稀缺、热门的教学岗位的吸引。一般来说，他们不会邀请学校里的教授参加星期二的饮酒活动。

我正在想方设法融入实验人员这个群体，我有些问题要问他们。这些问题既不需要费神思考，也不会挑战他们的能力。在仪器领域，他们都是专家，而我是外行。知道我同意参加他们每个星期二举行一次的聚会，杰米感到很好奇。他低声对我说道：“你是科学界的重要人物。”听到这句话我非常高兴，同时希望这不是对我的讥讽。在觥筹交错的时光中，我慢慢地融入了他们的圈子。

博士后（博士后研究员的简称）更是来去匆匆的过客，他们的公寓就是“过客”这个概念的完美诠释。我去过他们的公寓，那里他们有童年时期旅行时购买的纪念品，还有10多年前在校园附近淘换的二手沙发。那些老掉牙的家具与房间的结构很不搭，给人一种不和谐的感觉。砌在墙里的壁炉被几辆自行车挡住了。总的来说，公寓的主人仿佛要告诉别人：“我不打算长期住在这里。”但也有人在这个临时性住所里住了多年。一般来说，每过两年、4年或者5年，他们就会搬家，几乎不会在一个地方待很长时间。

然而，这些科研人员之间的联系将会保持几十年，甚至直到他们生命的终结。他们要么在“小屋”聚会，要么在路易斯安那州的LIGO天文台、意大利的Virgo天文台或者尼斯天文台出席会议。就这样，在地球上，在思想里，在合作中，他们找到了生命的永恒意义。

科研人员就是操纵杆、调节器，就是固定在攀岩墙上帮助人们向上攀爬的支点，各种知识（全部是人类思维的产物）与现实混杂在一起，搭建起攀岩墙的墙体，我们的思想则构成了一道过滤网，穿过这道过滤网，才可以开始进行攀岩活动。科学、自然和数学都有一个非常重要的探索目标，但是，只有通过个体的努力，才能成功地爬上那堵高墙。现在，各种各样的人纷纷站了出来，有法国人、德国人，还有美国姑娘。因此，向顶峰攀爬是一种个人行为，是真正由人类完成的一项事业，是真正意义上的探索活动，它没有采用柏拉图式的理想形式，而是在分解之后交由个人来完成。最终，它变成了一种个人行为。同时，我们希望它也是一种客观真实的行为。

星期二的聚会通常会邀请志同道合的人参加，因此出席者都真诚相待，卸去了职业的伪装，还流露出一种疲惫的感觉。

2013年2月，我第一次同这些博士后喝酒，当时，LIGO探测器的升级进程大约完成了一半。升级完成后，新的探测器将被称作高新探测器，简称“aLIGO”。我跟他们说起2015年完成第一次探测的计划，他们都笑了笑，然后无奈地摇摇头。不可能，不可能，2015年是不可能的。有人喊道：“不过，或许行吧。”或许可以安排一两个月的时间进行测试，但是完成探测是不可能的。有人则非常悲观，说至少要等到2018年。

他们大都出生于20世纪七八十年代，或许有一两个人是“90后”。他们都不知道约瑟夫·韦伯，但他们却在与韦伯建造同一艘船，不对，应该说他们正在寻找同一个宝藏。当初，韦伯这个疯狂的家伙设计了一个注定无法成功的棒式引力波探测器，然后在简陋的实验室级别的金属板的怂恿之下，发布了后来令他无比痛苦的“成果”。现在，在蒸汽朋克技术折戟沉沙的地方，他们借助相同的藏宝图，开始了新的寻宝之旅。

由于不确定因素的干扰，所有人都有些麻木了，个人的注意力因为对机器不同组成部分（悬挂系统、光纤、直流输出转换等）的无声关注而分散，团队的注意力则对共同项目的有声关注（安装的迫切性、灵敏度目标以及科学界的看法等）而无法集中。然而，紧张、兴奋的情绪为他们提供了支撑下去的动力。探测器很快就可以投入运行了，在他们每天挥汗如雨的努力下，目标越来越清晰，眼看就要变成现实了。

在描述即将实现的成果时，我们都有自己独特的风格。在做演讲演示时，我们都会根据自己的偏好，避免使用那些很难理解的术语和概念。到目前为止，我已经听过无数个版本了。仅这个晚上，我就听到了几个简短的版本。围坐在这张桌子旁的人都是团队的一分子，他们都付出了努力，也都有权分享成果。他们探索的不只是黑洞，他们从事的工作也不是清点库存、建立索引。

我们倾听的是直接来自一种基本力的信息，是由这种基本力的载体直接传送到我们耳边的信息。我们将直接聆听自然基本法则的信使为我们送来的信息。我之所以使用“直接”、“信息”和“基本”这几个词，目的是让你同那晚坐在桌旁的所有人（无论他们在自己的版本中如何使用这几个词语）一样，可以领会其中的“模因”（meme）。

只有最剧烈的灾难性天文现象产生的引力波才能将信息传递给LIGO探测器。基于这个原因，黑洞、宇宙大爆炸、超新星爆发将更容易被发现。因此，尽管我们目标远大——与基本法则直接对话，但我们也应该对这个领域中的个别创造表示我们的敬仰之情。

黑洞发生碰撞后，周围的空间会不断振荡，直到一个完好无缺、更加庞大、不断旋转的黑洞形成并稳定下来，空间才会恢复平静。所有的致密双星系统合并时，都会发出声音，而且高度与强度不断增加，最后变成独特的“唧唧”声。运行轨道的具体特征对声音有影响作用，因此我们可以根据声音推断“鼓槌”的运动轨迹。

中子星发生碰撞后，很有可能形成黑洞。在这个过程中，由于大块外壳从中子星上脱离，可能会导致中子星质量减小，以至于在碰撞之后还会产生一个中子星残骸。在合并之前，用望远镜基本上是无法观测到中子星的。但是，发生碰撞（广义）时，这些有超强磁场、超导、密度等于原子核的星体就会破碎，释放出强烈的γ射线（能量高于X射线）。在人们已经知道、观察到并加以研究的γ射线暴（简称GRB）中，有一种就是中子星碰撞形成的。人造卫星曾经发现γ射线暴，并拍摄了照片。但是，γ射线爆发持续时间极短，人造卫星来不及调整焦距，拍摄的照片比较模糊。人造卫星可以追踪释放出来的能量，观测到爆发由强到弱、逐渐消散的过程，有时还可以记录下爆发后的苍白色残骸。引力波天文台与人造卫星光学观测之间的合作，给科研活动带来了一片光明的前景。LIGO探测器可以记录最后几分钟的旋近情况，触发人造卫星调整角度，观测即将发生的爆发。这个方兴未艾的研究领域的数据来源有光波和引力波两种，因此被称作“多信使天文学”。

形成致密残骸的超新星爆发是另外一个可能的目标。每隔几百年，银河系就会发生一次恒星爆发，因为距离非常近，所以不需要望远镜，肉眼就可以直接观察到。但是，这种引力波携带的能量远少于黑洞碰撞后产生的引力波携带的能量。如果现行理论没有错误，那么即便是高新LIGO探测器也难以探测到银河系外的超新星爆发。

超新星爆发时会发出独特的声音，但是声音的具体特征取决于爆发的具体情况。有时好像鲸鱼的咕噜声，有时又像抽鞭子的爆裂声。声音可以直接表现出星体在大灾难中获得的加速度情况。所有的超新星都与恒星爆发有关系，LIGO项目组中有一个小组，专门探测、分析这些爆发，包括预见到的和没有预见到的。有人提议在超新星上碰碰运气，试

图获得第一个完成探测的殊荣，但更多的人认为超新星太安静了，绝不应该选择它们作为目标。

孤零零自旋的中子星是另外一个常见的引力波来源。如果这种中子星的表面是平整的，时空曲线就会波澜不惊。但是，只要星体表面有山脉，每次自转时就会在时空中形成旋涡，仿佛船桨划过水面时在水中留下左右不对称的旋涡一样。表面有少量山脉的中子星在自转时会发出单一频率的纯音，表面不规整的中子星自转时会发出连续而单调的声音。

宇宙大爆炸产生的可能是一种刺耳的嘈杂声。总的来说，这些声音应该是一种毫无特征的白噪声——与静电噪声非常相似的嘶嘶声，到140亿年后的今天，已经变成很弱的嘶嘶声了。根据我们目前对大爆炸之后宇宙演化过程的了解，在大爆炸发生不到10^{-36}秒的时间，时空的急剧膨胀就把大爆炸的噪声稀释到接近无声的状态。但是，宇宙大爆炸的确发出了一声巨响。由于引力波现在已经变得极其微弱，因此我们通过LIGO探测器肯定无法听见这创世之初的声音了。但是，如果在太空中安放干涉仪的任务取得成功，那么即使宇宙大爆炸的残余声音达不到LIGO的探测范围，太空中的干涉仪也可以直接探测到。

另外，不同星系中无关联的致密星体发出的不相干的声音，也有可能在随机条件下被我们的探测器捕捉到。致密双星系统的重叠部分就有可能会产生随机背景噪声，但在干涉仪进入太空之前，可能都不会造成可怕的后果。

我第一次听到基普在报告中谈到他们有可能开辟一条了解宇宙奥秘的新途径时，我就对它充满了期待。是否还有我们想象不到的天文现象呢？我们能探测到暗物质、暗能量或者暗维度吗？

在漫长的一天快要结束时，人们往往喜欢讨论实验中遇到的具体问题，比如噪声。在任何科学实验中，噪声都是一个绝对需要关注的大问题，引力波实验也不例外。但是，之所以使用噪声这个名词，与引力波是一种声音这个概念没有关系。噪声是指所有探测器搜索目标信号时出现的错误。在引力波实验中，噪声可能有两个含义：一是指你必须容忍的错误，代表精确度方面的不足；二是指某种声音。在“菲格罗亚大街上的小屋”里与朋友交谈，你会听到嘈杂的背景声，还能听到朋友的说话声。我想要接收的信号是朋友的说话声，但是她的声音淹没在巨大的音乐声中。人们精心编写出各种算法，以消除那些可预见的噪声，例如上

述例子中的音乐声。但是，摒除其他人的说话声，只留下我们希望听到的声音，这是一个难度很大的任务。探测器探测到的引力波的声音可能比背景噪声弱，引力波声音的峰值水平甚至也比不上那些喧嚣声，数据分析师的任务就是在铺天盖地的噪声中，把这些目标声音找出来。

如果引力波记录指向天空中的某个明亮的光源，就可以补充我们既有的证据，这比单独的录音证据更有说服力。我们可能需要提供多个“信使”送来的信息，才能让奥斯特里克等怀疑论者心服口服。

项目组不断地迎来又送走一批批更年轻的科研人员。虽然每个人都有自己的追求，但他们更多的是把自己看作这个庞大机器的组成部分。LIGO项目的两个场地都已经完成了高级反射镜、激光器和隔震系统的安装工作。接下来，就会进入试运行阶段，也就是说，所有安装好的子系统同时启动，成为一台可以正常工作的整机。利文斯顿的探测器已经处于锁定状态，就在几天前，汉福德的探测器也进入了锁定状态。几周以来，所有人轮流上阵，每名实验人员的合作对象都不固定，因此没有一个人受到表扬。现在，在他们的努力下，不久前安装好的这套高新机器进入了操作模式。我有时会在夜间查看他们的工作日志。一天晚上，一条在凌晨4：23记录的日志让我辗转反侧，难以入睡。“机器再一次进入了锁定状态，在这40秒钟的时间里，所有信号似乎都比昨晚稳定。”有的日志记录的是他们遭遇的挫折：“今天的情况十分不好，机器无法进入锁定状态。”接着，几天后记录于凌晨5 ： 24的一条日志说：“机器进入锁定状态已经有一个多小时了，CARM（回旋自谐振脉塞）和DARM（机器臂）分别受到了数字式REFL91和ASAIR 45Q的控制，因此探测器的周期发生了一个33 W/W（质量比）的增益……这意味着探测器的清晰度大约是94%。”为了更好地理解它，我查阅了缩略词语表，但在当时，一看到这条日志，我立刻产生了一种愉悦的感觉。探测器进入了锁定状态，灵敏度也非常好（尽管还没达到要求）。

第二天上午，很多人对这条日志进行了评论，向致力于机器组装工作的科研人员们表示祝贺和感谢。雷纳留言说：“第一个噪声谱！干得漂亮！”从第一次进入锁定状态开始，第一代LIGO探测器花了近4年时间进行调试，才实现了灵敏度设计目标。高新LIGO探测器的进展似乎快得多。那晚，我听说他们计划在接下来的6个月时间里，竭尽全力改进探测器的灵敏度，使它可以分辨微弱的回声。接下来，在2015年9月，他们就会开始第一次科学运行。到那时，探测器需要在几个星期内一直保

持锁定状态。他们的目标是探测出4　000米长度上发生的原子核直径千分之一的变化。现任项目负责人戴维·瑞兹在日志上留言：“太棒了！为所有人颁发噪声捕捉从业资格证书！”

在参加“小屋”聚会的科研人员中，很多人经常要到控制室、激光与真空设备区，从事编写控制系统编码、检测反射镜涂层、焊接电器元件等工作。他们来到加州理工学院，可能是短期访问，也可能准备定居下来。我们坐在桌边，天南海北地闲聊。谈话的主题不定，我们相互开玩笑逗趣，还不时冒出一两个专业术语。

午夜时分，最后一杯酒也喝完了，我们来到空荡荡的大街上。大家抬起胳膊，东南西北乱指一气，随后有人走向人行道，有人朝街对面走去。回到简陋的住处后，我们或者分享一张学生床，或者睡到朋友的沙发上。酒吧的喧嚣声还在耳边萦绕，幸运的是，持续时间不是很长。

第16章
与时间赛跑

The Race Is On

罗克斯·沃格特后来说道：“他们肯定会探测到引力波，这是毫无疑问的。但是，这项成果不再属于我，我只能从报纸上读到相关报道。

“我没有遗憾……伤口已经愈合了。对于我来说，这是陈年往事。我现在从事国家安全方面的工作……非常自由，不用受领导的管束。我并不是在为政府打工，向华盛顿的行政部门汇报情况时，我甚至可以说那些将军都不敢说的话……我直言不讳，是因为我有这样做的自由……对于一个85岁的老人来说，这样的工作真是太棒了。

“加州理工学院是我的家，与我有千丝万缕的联系。它就是我的家，我的故乡。现在，有人说我已经不是加州理工学院的一员了……我遭遇过很多挫折，但是每一次，生活都会以这样或那样的方式给予我补偿。当时，我要么辞职，要么被辞退，要么……我真的非常痛苦，非常难过……然而，总有人站出来，帮我摆脱困境。我实在是太幸运了。

“我支持核裁军，但我的工作之一是核武器研究。只要我们的国家和我们的世界真的想要核裁军，我就能处理好这两者之间的关系……我们过去反对极权主义……我从不提倡零核世界……我一直提倡的是保有少量核武器。由于人们相互之间缺乏信任，所以不可能实现零核世界……但是，如果把核武器的数量减到很少的程度，就不会对地球安全构成威胁。现在，只要4 000枚核弹，就可以把地球变成不毛之地。我担心那些疯狂的家伙真的有可能发动核战争，但是，如果他们的核弹数量没有达到4 000枚，而是只有2 400枚，他们就只能毁灭一座城市。尽管这种情况也不是很好，但至少不会毁灭地球。如果他们有4 000枚核弹，地

球就将毁于一旦，我希望阻止这种情况发生。作为业内人士，我可以发挥更大的作用。所有人都知道我反对核武器，这是我的信仰。”

两个月之前，由于健康问题，沃格特临时取消了与我的会面。有传言说他在阿富汗遭到了武力袭击。由于他从事的是核武器研究，因此他成为敌人的报复对象。他在袭击中受伤，做了几次手术，但效果都不是很好。他的健康问题好像与脊柱有关，不知道是不是骨折。

“我要感谢这个国家。这个国家对我一直很好，比我的出生国对我好多了。”

我们站在LIGO总部大楼外道别，但话总说不完，腿都站酸了。从大楼陈旧的木门走出来的人都会仔细打量我们。LIGO项目的科研人员向我们挥手致意，但都一言不发，视线从沃格特身上扫过。沃格特希望找到倾诉对象，谈一谈他的研究及初衷，谈一谈他对这个国家的担忧之情。他不需要我的肯定或者赞同，我也不想发表对裁军与阿富汗局势的看法，因为这些话题与本书无关。他说的每一句话都经过深思熟虑，连续几个小时的交谈让我快喘不过气了。对于这个饱受争议的人，我不下任何结论。即使他的政治观点与我不同，我也不发表任何意见。（对于我来说，这或许是一次不寻常的经历。）后来我猜想，美国国家科学基金会的人之所以看了我发给他们的电子邮件，是不是因为我和沃格特的这次会面呢？显然，这个问题无法考证。

沃格特从LIGO科学合作组织辞职（他可能认为自己是被辞退了）之前，他还在另外一个岗位上工作了几年。巴里什没有拒绝他的辞职申请，他说：“他不可能担任非领导职务的。设身处地地说，我也不愿意。”雷纳希望可以和解，他打算把沃格特安排到两个天文台中的一个去工作，以此对他做出的贡献表示感谢，也想翻过这复杂曲折的一页。

我和雷纳在汉福德天文台附近的一家饭店共进晚餐。包厢不小，足够容纳6个人。吃饭时，雷纳回忆起他最后一次看到罗纳德·德雷弗的情景。为了化干戈为玉帛，巴里什在接任项目负责人一职后，废除了所有对罗纳德的禁令，并鼓励罗纳德参与更广泛的LIGO项目。于是，罗纳德加入了LIGO科学合作组织。他开始出席各种会议，还不断地思考如何结合自己的实验室工作为LIGO项目做贡献。通常情况下，他都不发表意见，只是默默地观察，没有任何敌意，仿佛和朋友们出门游玩一般。

2008年春，雷纳在帕萨迪纳出席LIGO科学合作组织的一个会议时，发现罗纳德没有到场。听说大家近期都没见过罗纳德之后，他不禁有点儿担心。心神不宁的雷纳来到罗纳德在加州理工学院的公寓。门开了之后，雷纳看到的是满房间的书和乱糟糟的衣服。走进去之后，他们好不容易找到一小块可以坐下来的地方。罗纳德坐在一把安乐椅上，雷纳则坐在一把硬椅子上面。不知道为什么，雷纳对我讲述了这些细节。同往常一样，他们开始聊LIGO。雷纳告诉罗纳德，一位从苏格兰来的同事的健康状况出了问题。在谈话进行了一个小时之后，罗纳德又一次问起这位从苏格兰来的同事，在听说他的健康状况之后，开始为他担心起来，仿佛他是第一次听说这个坏消息。这让雷纳担心起罗纳德的身体。

在发现罗纳德头脑糊涂、健忘之后，雷纳建议他去看医生，但是罗纳德拒绝了，说医疗费用太贵了。这让雷纳十分担心，他说："这个家伙在美国举目无亲。他一直没有结婚，也没有朋友。他一个人待在乱糟糟的公寓里，也不去上班。"

戈德莱希也向我讲述了他最后一次看到罗纳德·德雷弗的情景："最后，我只好把他送上飞机，让他回到他弟弟的身边。现在，他患上了阿尔茨海默病。"说到最后，他的声音变得非常小，不知道是因为要告诉我这个消息，还是因为遗憾。"我帮他买好机票，和他一起上了飞机，把他送到约翰·肯尼迪机场，然后再把他送上飞往他弟弟家的飞机。真让人难过啊！"

1997年，有人请罗纳德谈谈他对LIGO的看法（当时，全尺寸探测器还没有建成）。罗纳德说，人们可能持两种观点：要么认为LIGO是一个巨大的成功，要么认为它纯属浪费金钱。

在"罗纳德事件"的整个过程中，基普与罗纳德一直保持着一种友好但却比较紧张的关系。他对罗纳德技术能力的尊重从未改变。（雷纳告诉我一件非常有代表性的事情。一次，基普正在完成一个复杂冗长的计算，他绞尽脑汁地算了几页纸，而罗纳德轻轻松松就给出了一种图示解法。罗纳德不懂规范的数学运算，但是他可以通过图形找到答案，这给基普留下了非常深刻的印象。）罗纳德经常参加基普组织的团队会议，直到他的健康状况出现问题。尽管这么多年来，基普和罗纳德冲突不断，但是他觉得自己同所有人的关系都不错。他不经常待在校园里，罗克斯·沃格特同样如此，但是他们偶尔会不期而遇。在走廊中遇见时，他们还会停下脚步，热情地聊天。

基普一直期盼LIGO项目可以获得成功。回想几十年来遇到的技术难题、各种突如其来的政治及心理障碍，他仍然觉得不可思议。他一直对未来的成功心存疑虑，但他对艰苦的程度还是估计不足。这些实验人员显然让他感到自豪，这种盛况空前的技术合作（即使算不上一次科学合作）让他容光焕发、赞叹不已。早在40多年前，他就已经预见到了这一幕。多年来，为了确定噪声源的数量，基普和学生们投入了大量时间。他还参与了探测器建造的具体工作，通过分析激光管中的散射光来确定机器的规格。但一直以来，他更擅长、更希望从事的是理论研究，有时还会提出一些猜想。基普认为，他对LIGO最重要的贡献就是“通过与众多同事、学生讨论”并提出了该实验的科学前景。当团队在基普的专业领域内有足够的知识储备，使基普可以脱身去从事引力波声音源的纯理论预测研究的时候，他终于松了一口气。基普还从科学的角度论证了建造高新探测器的必要性，这是他为LIGO做出的最后一个重大贡献。“现在，我变成了一名非常愉快的场外观察员”，每过几个月检查一次最新的灵敏度曲线。他承认自己运气不错，在电影行业开始了他的新事业，为热门电影（比如《星际穿越》）写评论、参与制作，与他的朋友霍金一起出席电影首映式。

罗纳德·德雷弗还在世，但是他的健康状况极其糟糕。他的弟弟在信中告诉我：“罗纳德进护理中心大概两年了，但他还是那么优秀。昨天，我去看望他。我不敢确定，但我觉得他很可能还认得我。”约瑟夫·韦伯已经离开我们了。罗克斯·沃格特从未去过两个LIGO天文台，尽管他之后的每一任项目负责人都向他发出了邀请。雷纳退到幕后，基普还算活跃。在我创作这本书时，德国团队中的比林斯已经101岁了。布拉金斯基的健康状况不稳定，希望可以坚持到高新LIGO探测器完成第一次引力波探测。斯坦利·惠特科姆在印度为LIGO天文台的安全运行保驾护航。格拉斯哥大学的吉姆·霍夫负责为高新探测器提供基础部件，他说：“我们都争取能活到那一天。”

雷纳告诉我：“这样的日子很难熬。”2015年7月，他帮助利文斯顿天文台解决反射镜的问题。这些反射镜的效果正在不断提升，产生的噪声越来越少。8月，他又前往汉福德天文台，检测数字模拟转换器的某些非线性特征。他说：“我觉得，让这套系统完成一次探测是我们的荣誉，也是我们的义务。如果做不到，就说明我们把这个国家引入了歧途。”1916年，爱因斯坦发表了一篇论文，第一次预言了引力波的存在。雷纳希望在爱因斯坦的这篇论文发表100周年的纪念日到来之前取

得成果，但是，如果赶不上这个时间节点，那么能赶上爱因斯坦1918年发表的第二篇关于引力波的论文的100周年纪念日，他也可以接受。“我不希望这样，但也可以。”他告诉我，毕竟爱因斯坦的第一篇关于引力波的论文中有一些错误。

第一轮科学运行最好可以完成一次探测，只要能第一次记录下来自太空的声音即可。雷纳说道：“天哪，一定要有效果啊！但是我得告诉你，我真正追求的其实不是这个。如果我们无法探测到强引力场，这台机器就是一个失败的作品……我们一定要探测到黑洞。如能成功，将给我们带来无与伦比的满足感，意味着我们完成了一个伟大的壮举，所有的努力都没有白费。”

6个月以来，雷纳一直在和麻省理工学院的丽萨·巴尔索蒂、马修·埃文斯、纳吉斯·马瓦尔瓦拉（这几名年轻的科研人员也把探索的目光投向了遥远的未来），认真探讨LIGO之后探测器的发展前景。目前，量子实验正在不断取得进展。有人开始讨论建造40千米探测器的可能性，还有人提议将探测器送进太空。在说到他近期的一些想法时，雷纳一副意气风发的模样。他特别指出，合作机制必须进一步发扬光大，现在就应该开始设计新一代探测器。如果等到探测成功之后才启动，就会错失良机，导致这个领域停滞不前。他对未来有一个非常清晰的设想——他的理想得以实现，他们成功探测到的不只是这一代探测器希望探测到的嘶嘶的爆裂声，而是一种截然不同的令人难以置信的声音。他说：“我在有生之年可能无法实现这个理想，但这并不重要。”

在宇宙的某个地方，两个黑洞发生了碰撞。这是自宇宙起源以来威力最大的天文事件之一，释放出的能量相当于10^{21}个太阳。这么多的能量以时空涟漪，也就是引力波的形式，从正在合并的黑洞向四周传播。

当前，人们正在赶时间、抢进度，希望在高新LIGO探测器完工之前，能够第一次成功地探测到引力波。也许在10亿年前，黑洞碰撞、中子星碰撞或者恒星爆发导致时空荡起了层层涟漪，它们穿越浩瀚的宇宙来到了地球。

在地球不断发生变化的过程中，远古的多细胞生物演变成超大陆上的化石。与此同时，黑洞碰撞的一丝余音踏上了漫漫的时空旅程，向着我们传播而来。当这缕余音途经本超星系团时，地球上正是恐龙时代。当它经过仙女星系时，地球进入了冰川时代。当它来到银河系时，人类

正在创作石洞壁画。当它接近地球附近的星团时，工业化将人类社会带入了飞速发展的阶段，蒸汽机出现了，爱因斯坦通过推理，证明了引力波的存在。在我开始撰写本书时，它抵达了半人马座阿尔法星。

在这个历时10亿年的旅程即将完成的时候，一个由数百名科研人员组成的团队正在建造天文台，捕捉来自太空的第一段蓝调。当引力波在太阳系外的星际空间中穿行时，探测器将准备就绪。

引力波接近海王星的时候，我们还有几个小时的时间。当它经过太阳时，留给我们的时间就只剩下几分钟了。灯火通明的控制室里有人值班，她正在利用传统的扬声器系统或者耳机监听探测器的运行情况。当然，她也可以用这些工具取乐。也许，在计算机、风扇、探测器的噪声以及计算机键盘的敲击声的干扰之下，在与控制系统进行了8分钟烦躁不安的交互之后，她也许无法注意到某个似乎与众不同的声音。但是，复杂的计算机算法将实时分析数据流，然后通知数据分析师——最好是在午夜，让他四下找眼镜，或者跌跌撞撞地爬下床。然后，某个人会认真地思考这个触发因素的具体情况，然后冷静地做出判断："这一次，我们可能真的要捕捉到它了。"

本书是一部引力波编年史，也是为一个异想天开、气势恢宏而充满艰辛的实验项目献上的赞歌！

尾声

Epilogue

2015年9月14日，星期一，由于两个LIGO天文台还没有完全准备就绪，原计划于当天上午8 ： 00启动的高新探测器的第一次科学运行（O1）被推迟了一周。在科学运行期间，探测器将始终处于锁定状态，以便在不受干扰的情况下收集数据。第一次科学运行被推迟之后，他们延长了第8次工程运行（ER8）的时间，以便检测系统，进行最后的调试。工程运行的任务按照由高到低的优先程度排列，包括提高稳定性、让探测器保持锁定状态、让警报触发器处于待命状态。算法流水线自动执行一部分数据分析任务，在数据流中搜索有价值的信号。但是，算法流水线向负责观察的合作伙伴（即望远镜和人造卫星的操作人员。他们在接到警报之后，负责搜索相应的光学信号）发警报的程序还没有准备好。尽管探测器已经就位，但是算法流水线只能履行部分职能，因此操作人员还给自己安排了收集数据的工作。但是，他们在做这项额外工作时并不是非常仔细，工作的连续性也无法保证。

由于是多风的季节，暴风从阿留申群岛、墨西哥湾或加拿大沿海地区拉布拉多吹过来，导致这里的微弱地震的发生频率居高不下。风雨对大陆架的冲击以及地震活动都有可能导致探测器脱开锁定状态。因此，两个LIGO天文台都遇到了麻烦。9月13日，星期日，汉福德的探测器在夜幕刚刚降临的时候进入锁定状态。一名研究生在星期日的深夜开始做测试，直到周一凌晨1 ： 00才结束。这个周末，雷纳是在利文斯顿天文台度过的，一个无线电噪声源让他心情烦躁。他告诉我："幸好，我的妻子让我必须马上回家。"留在利文斯顿天文台的人继续做测试，直到周一的黎明之前，他们才从沮丧中解脱出来。探测器终于进入锁定状态。

探测器进入不受干扰的观察模式之后，有一个不到一个小时的最佳

探测期。汉福德和利文斯顿的探测器都记录了一个脉冲信号，时间分别是凌晨2：50和凌晨4：50。两个天文台的控制室里各有一名值班的操作人员，但是这两个人可能都没有听到任何异常的声音。信号维持的时间太短，人耳根本来不及分析处理。

在数据记录进行了不到300秒钟的时候，算法流水线发现了一个值得关注的事件，并悄悄地记录下来。欧洲人起床之后，习惯性地查看工作日志。由于算法流水线经常报告潜在的可能目标，因此他们看到这个发现可能信号的报告时，没有任何特别的反应，而是平静地拿起电话，核实两个天文台的探测器状态。两名操作员报告：一切正常。

他们锁定了探测器，开始收集背景噪声，直到几个小时之后两个天文台的探测器脱开锁定状态，进入离线状态。这时候，迈克尔·兰德里上班了。他开始查阅工作日志，并发现通信量非常大，人们还对这个可能的信号提出了各种各样的猜想。迈克尔立刻告诉自己，“这肯定是一次盲注”，即故意在数据流中悄悄地注入一个虚假信号，目的是检测合作组织的准备情况以及处理真实信号的能力。迈克尔对盲注小组（包含三名科研人员，任务是完成盲注测试）的这次行动有点儿恼火。他暗暗地想：“他们想干什么？我们还没准备好呢。”他开车去汉福德天文台参加周一上午8 ： 30的例会。碰巧的是，盲注小组的一名成员正好在场。迈克尔耐心地问他：“我们现在已经进入盲注阶段了吗？”出于对盲注规则的尊重，迈克尔不能明确地问是否有盲注测试。如果那样问，盲注小组既不会表示肯定，也不会表示否定，而是拒绝回答。但是，他可以询问他们是否进入了盲注阶段。那个人显得有点儿慌乱，回答说：“没有。”

“你们开始盲注测试了吗？”

“没有。”

“你们已经进行常规注入测试了吗？”

“没有。”

迈克尔想是不是自己的表述不够准确，于是他又问道：“你们有没有进行任何形式的注入测试？”

“没有。”

迈克尔想："看来，这不是盲注测试。"他告诉我："在意识到没有盲注测试之后，我彻底冷静下来。"

上午9点，迈克尔参加了这个国际合作项目每周一次的电话会议。在电话里，很多人纷纷发言，大部分人都跟他之前的想法一样，认为这很可能是一次盲注测试。杰米·罗林斯说："我根本不相信这是真的。"在电话会议中，迈克尔站了起来，试图联系身在利文斯顿天文台的加布里埃拉·冈萨雷斯。最后，他告诉所有参加电话会议的人："这次的异常信号不是盲注测试。"电话里传来加州理工学院艾伦·温斯坦的声音："迈克尔……你再说一遍！"

2015年12月中旬，我收到LIGO项目负责人戴维·瑞兹发来的一封电子邮件。邮件的标题是："本邮件涉及LIGO，注意保密"。瑞兹在邮件中写道："9月14日，LIGO的两台探测器记录了一个异常信号，而且该信号与两个质量是太阳30倍的黑洞旋近及合并的现象一致。"他接着写道："在过去三个月中，LIGO科学合作组织与Virgo天文台认真审查了这个信号。它们得出了一个非常肯定的结论，即我们第一次完成了引力波探测，并且观测到第一个双黑洞系统。"邮件的署名是瑞兹、雷纳和基普。"我们需要强调的是，相关论文可能在2月发表，在此之前，所有关于这次探测的信息都不能公开。"我不想告诉任何人，我的大脑有点儿混乱。在接下来的几个小时里，我静静地待在那里，试图想象这件事的具体情况，在大脑里重现黑洞碰撞、时空振荡、引力波传播的所有情景，以便从心底里接受这个事实。

黑洞碰撞传递给我们的信号，是宇宙大爆炸以来人类探测到的最强大的信号，引力波的强度是太阳光度的10^{23}倍。发生碰撞的这一对黑洞，一个质量是太阳的29倍，另一个是太阳的36倍。在碰撞之前，两个黑洞相互绕对方运行，探测器捕捉到了它们运行的最后4圈。此时，两个黑洞之间的距离仅为数百千米，运行速度非常接近于光速。当它们最终碰撞时，事件视界在它们附近发生扭曲，然后相互碰撞、合并，在振荡之中消除了所有不规整的部位，最后变成了一个质量是太阳的60多倍、寂静无声的黑洞。探测器记录的那个信号，包括黑洞最后几圈轨道运行、碰撞、空间振荡，只持续了200毫秒。探测器探测到干涉臂的长度发生了相当于质子直径千分之一的变化，正好在几十年前基普等人推断的变化范围之内。人们仍然认为这是一个响亮的信号，明显强于背景噪声。这个信号可以做声化处理，但在播放录音时必须放慢速度，才能

辨明它的条理结构：当黑洞相互靠近时铃振声不断升高，新的黑洞最终形成时声音下降。数据还包含其他异常的地方，但都不显著、明晰。这种响亮的信号为什么如此少见，原因很难弄清楚。

完成这一次探测之后，LIGO迎来了广义相对论的100周年纪念日。1915年11月25日，爱因斯坦第一次对引力进行了几何描述。严格说来，LIGO科学合作组织成功实现了雷纳的目标，在爱因斯坦发表第二篇引力波论文的100周年纪念日到来之前完成了第一次探测。

雷纳说："最重要的是，我了却了一桩心愿。"

他开玩笑说："我的妻子突然对这个领域产生了兴趣。"碰巧的是，雷纳在美国国家科学基金会的老朋友里奇·艾萨克森也在9月中旬的那一周来缅因州看望他。就像怀疑有传染性一样，艾萨克森听到这个消息之后的第一反应也是不敢相信，他问我："你相信吗？"有人甚至担心这个信号是黑客恶意注入的产物，雷纳也有这种担心。但是，要做到这一点，这名黑客对相关知识的了解程度，至少要与LIGO科学合作组织中最能干、参与程度最高的那些科研人员相差无几。谨慎起见，他们已经询问过符合条件的那几个人了。疑虑逐渐消退，人们在犹豫不决后兴奋起来。

基普说："我当时一阵狂喜。"尽管业界的观点多年来一直摇摆不定，但是他一直认为第一个被探测到的引力波源应该是黑洞。黑洞的质量越大，碰撞的声音越响亮，传播的范围越远，被探测器成功捕捉的可能性越大，尽管符合这些条件的黑洞比较少。因此，基普关心的是这一刻何时会到来。

我告诉基普，那些实验人员认为第一次成功探测在几年内不会实现，他们建议我耐心等待。基普纠正了我的说法："这些人中肯定不包括莱纳。莱纳每次都会跟我说，这次肯定有收获。"

我跟莱纳说到这件事的时候，他回答说："我的确每次都会那样说。"

然而，当莱纳听到大厅里有人讨论那个可能的信号时，他却不为所动。他说："我们默默地打开了机器。"一天之后，他才有机会查看那些数据。在他看来，那个信号简单得近乎荒谬，与理论推断得出的引力波没有任何显著不同。（几分钟之后，我利用自己的黑洞密码绘制了一幅

图，用来模拟两个黑洞最后几圈轨道运行的情况与空间振荡形成的波形。）他希望对广义相对论提出质疑，还希望他参与建造的机器可以用来检测量子引力。他说：“我们需要加大研究的力度。”

雷纳陷入了幻想：“黑洞，这是前辈们梦寐以求的东西啊。它是纯粹的几何体，也是纯粹的时空合并。”但仅过了一分钟，他就从想入非非中清醒过来，担心起未来发展的问题。现在的探测器已经比第一代更灵敏了。两者之间的差别，从论文草稿中摘录的一句话就可见一斑：“这384个小时得到的双黑洞系统的观察数据比第一代机器得到的总和还多。”高新探测器的灵感度更高。雷纳继续埋头研究，以进一步降低探测器的噪声，让这些机器发挥更大的作用。为了履行诺言，让天文台全面发挥科研功能，整个团队还需要继续努力。

我说：“恭喜你，雷纳。就连我都激动得无以言表，很难想象你现在是什么心情。”

“我的确了了一桩心事，但是新的挑战又来了，你看看我现在遇到的问题就能理解我的心情了。”

几十亿年前，两颗巨大的恒星沿着轨道绕对方运行。这两颗恒星的周围可能有行星，但由于这种双恒星系统可能非常不稳定或者结构过于简单，因此它们周围有行星的可能性不大。最终，这两颗恒星相继死亡，形成了两个黑洞，在黑暗中相互绕对方运行。大约几十亿年之后，这两个黑洞发生碰撞，合并为一个大黑洞。最后的200毫秒时间里，它们朝宇宙发射出极其强大的引力波。

引力波跨越了14亿光年的距离，来到了地球。整整14亿光年！在引力波抵达地球之前的几个小时里，汉德福的探测器进入了锁定状态。还剩下一个小时的时候，利文斯顿的探测器也进入了锁定状态。那天晚上午夜时分，华盛顿州的科研人员结束了一天的忙碌，各自回家休息。路易斯安那州的科研人员沮丧地放下手里的工具，让探测器进入无人干扰的观察模式。不到一小时之后。引力波从地球南边的天空传来，掠过路易斯安那州时“叫醒”了利文斯顿的探测器，然后沿着与地面近乎平行的方向以光速传播。10毫秒之后，汉福德的探测器也有了反应。

第二天早晨8点时，这束引力波与地球之间的距离已经有20亿千米了。同往常一样，正在缅因州度假的雷纳翻开了工作日志，看看是否有

人需要他提供帮助。结果，他发现日志中有大量红色标注的条目，而且内容都是关于两个天文台全面暂停所有活动的事。跟团队其他成员一样，雷纳也感到很奇怪：“到底发生了什么事？”

可以预见，他们将召开新闻发布会，发表科研论文。媒体的报道也将铺天盖地。美国国家科学基金会将收到各种资料、报告。原始的记录材料将被归档放入资料柜。我们还会继续向太空发送信号，宣告我们的存在，宣告我们希望相互了解，宣告我们偶尔也会取得成功，尽管大多数情况下我们都会遭遇失败。我们听到了黑洞碰撞的声音。我们将充分发挥聪明才智，把目光投向这些声音的可能来源，投向许多许多年前的那片时空。

在浩瀚宇宙的深处，在距离我们非常遥远的南方，那个巨大的黑洞将在星系中运行，在黑暗、寂静中等待星际尘雾或者迷途恒星从它的旁边经过。几十亿年之后，它的寄主星系可能会与某个“邻居”发生碰撞，将这个巨大黑洞喷射到远方。它也许会落到正在不断长大的星系中心，一个质量超大的黑洞正在那里等着它。所有恒星都会死亡，银河系将与仙女星系融为一体。宇宙中的一切，包括这次发现的相关记录、太阳系的残骸，最终都将被黑洞吞噬。在临近时间尽头时，膨胀的宇宙将陷入沉寂，所有的黑洞也将化为乌有。

致谢

在我撰写本书的过程中，很多朋友、科研人员、工程师为我提供了大量帮助。他们为我详细深入地介绍那些机器以及组织的合作情况，带领我参观实验室，花费了大量时间在黑板上或者拿着纸笔为我讲解，讲述发生在他们身边的精彩故事，让我在美国各地的奔波不再单调乏味。我对他们充满了感激之情，他们是：莱纳·阿迪卡里、巴里·巴里什、丽萨·巴尔索蒂、艾丹·布鲁克斯、约瑟琳·贝尔·伯奈尔、陈雁北、约翰·德雷弗、詹·德里杰斯、马修·埃文斯、乔·贾埃姆、彼得·戈德莱希、加布里埃拉·冈萨雷斯、埃里克·古斯塔夫森、戴尔·英格拉姆、里奇·艾萨克森、迈克尔·兰德里、尼克尔·林纳、萨比·马卡、兹苏扎·马卡、杰伊·马克斯、纳吉斯·马瓦尔瓦拉、席德·梅什科夫、布莱恩·奥赖利、杰瑞·奥斯特里克、拉里·普莱斯、弗雷德·拉布、维维恩·雷蒙德、戴维·瑞兹、詹姆森·罗林斯、丹尼尔·西格、尼古拉斯·史密斯、维吉尼亚·特林布尔、托尼·泰森、罗克斯·沃格特、艾伦·温斯坦和卡罗莉·温斯坦。我本来打算（也应该）在书中介绍以上所有人，但在最终稿中只出现了一部分人的姓名。为了让本书的内容短小精悍，很多精彩的故事在编辑过程中被割舍了，这让我十分难过。

我要对基普·索恩和雷纳·韦斯表示深深的敬意和钦佩之情，对他们花费大量时间，慷慨无私地与我分享精彩的故事表示感谢。他们细致耐心地回顾历史，为本书的逻辑架构提供了坚实的保障。他们的诚实、正直、睿智、激情，一次又一次地打动着我。能认识他们，我深感荣幸。

感谢加州理工学院和LIGO天文台的热情接待，特别感谢肖恩·卡罗尔、卡罗尔·西尔伯斯坦和马克·韦斯。此外，我还要感谢加州理工学院档案员的辛勤付出和不懈努力。

本书的创作是在黑暗物质制造和先锋工厂这两家布鲁克林艺术工作室完成的。感谢这两个工作室的朋友们，感谢你们为我忙得团团转，感谢你们的热情和创造力，感谢你们制造的“噪声”和你们组织的精彩聚会。当然，还要感谢你们给我带来的重要灵感。

非常感谢巴纳德学院，多年来你们一直支持我，还将总统研究奖的

荣誉授予我。在写作本书的过程中，我还得到了古根海姆基金会的大力支持。在我担任校长研究员期间，我得到了丽娅·哈洛伦与查普曼大学的热情帮助，在此表示感谢。感谢马修·普特曼，他不仅帮助我拓展思路，还为我在先锋工厂提供了一个安身之所。

感谢约翰·布罗克曼、卡婷卡·马特逊和麦克斯·布罗克曼为我张罗了这份苦差事。感谢拉塞尔·温伯格与沃伦·马龙在起书名时给我提供了建议。

特别感谢本书英文版编辑丹·弗兰克的洞见、对我的理解和出色的业务能力。

感谢我的好朋友佩德罗·费雷拉。在我需要帮助的时候，他总是及时出现，为我提供最有力的支持。

从50年前基普、雷纳和罗纳德启动LIGO项目到它取得成功，许多科研人员和工程师在其中发挥了重要作用，但是很遗憾，我无法将他们的姓名一一列出。为了弥补我的疏漏，我在此对整个LIGO科学合作组织表示感谢。附录是LIGO科学合作组织的正式名单，共约800人，来自世界各地近130个机构。这份名单不仅包括建造探测器的实验人员，也包括世界各地为LIGO项目取得成功做出贡献的理论学家和数据分析人员。此外，它还包括为欧洲Virgo项目做出贡献的人。用雷纳的话说：“完成这项壮举，需要举‘全村’之力。”

附录
LIGO科学合作组织和Virgo合作组织成员名单

B. P. Abbott, R. Abbott, T. D. Abbott, M. R. Abernathy, F. Acernese, K. Ackley, C. Adams, T. Adams, P. Addesso, R. X. Adhikari, V. B. Adya, C. Affeldt, M. Agathos, K. Agat-suma, N. Aggarwal, O. D. Aguiar, A. Ain, P. Ajith, B. Allen, A. Allocca, P. A. Altin, D. V. Amariutei, S. B. Anderson, W. G. Anderson, K. Arai, M. C. Araya, C. C. Arceneaux, J. S. Areeda, N. Arnaud, K. G. Arun, G. Ashton, M. Ast, S. M. Aston, P. Astone, P. Aufmuth, C. Aulbert, S. Babak, P. T. Baker, F. Bal-daccini, G. Ballardin, S. W. Ballmer, J. C. Barayoga, S. E. Bar-clay, B. C. Barish, D. Barker, F. Barone, B. Barr, L. Barsotti, M. Barsuglia, D. Barta, J. Bartlett, I. Bartos, R. Bassiri, A. Basti, J. C. Batch, C. Baune, V. Bavigadda, M. Bazzan, B. Behnke, M. Bejger, C. Belczynski, A. S. Bell, C. J. Bell, B. K. Berger, J. Bergman, G. Bergmann, C. P. L. Berry, D. Bersanetti, A. Ber-tolini, J. Betzwieser, S. Bhagwat, R. Bhandare, I. A. Bilenko, G. Billingsley, J. Birch, R. Birney, S. Biscans, A. Bisht, M. Bitossi, C. Biwer, M. A. Bizouard, J. K. Blackburn, C. D. Blair, D. Blair, R. M. Blair, S. Bloemen, O. Bock, T. P. Bodiya, M. Boer, G. Bogaert, C. Bogan, A. Bohe, P. Bojtos, C. Bond, F. Bondu, R. Bonnand, R. Bork, V. Boschi, S. Bose, A. Bozzi, C. Bradas-chia, P. R. Brady, V. B. Braginsky, M. Branchesi, J. E. Brau, T. Briant, A. Brillet, M. Brinkmann, V. Brisson, P. Brockill, A. F. Brooks, D. A. Brown, D. D. Brown, N. M. Brown, C. C. Buchanan, A. Buikema, T. Bulik, H. J. Bulten, A. Buon-anno, D. Buskulic, C. Buy, R. L. Byer, L. Cadonati, G. Cagnoli, C. Cahillane, J. Calderón Bustillo, T. Callister, E. Calloni, J. B. Camp, K. C. Cannon, J. Cao, C. D. Capano, E. Capocasa, F. Carbognani, S. Caride, J. Casanueva Diaz, C. Casentini, S. Caudill, M. Cavaglià, F. Cavalier, R. Cavalieri, G. Cella, C. Cepeda, L. Cerboni Baiardi, G. Cerretani, E. Cesarini, R. Chakraborty, T. Chalermsongsak, S. J. Chamberlin, M. Chan, S. Chao, P. Charlton, E. Chassande-Mottin, H. Y.

Chen, Y. Chen, C. Cheng, A. Chincarini, A. Chiummo, H. S. Cho, M. Cho, J. H. Chow, N. Christensen, Q. Chu, S. Chua, S. Chung, G. Ciani, F. Clara, J. A. Clark, F. Cleva, E. Coccia, P.-F. Cohadon, A. Colla, C. G. Collette, M. Con-stancio, Jr., A. Conte, L. Conti, D. Cook, T. R. Corbitt, N. Cor-nish, A. Corsi, S. Cortese, C. A. Costa, M. W. Coughlin, S. B. Coughlin, J.-P. Coulon, S. T. Countryman, P. Couvares, D. M. Coward, M. J. Cowart, D. C. Coyne, R. Coyne, K. Craig, J. D. E. Creighton, J. Cripe, S. G. Crowder, A. Cumming, L. Cunningham, E. Cuoco, T. Dal Canton, S. L. Danilishin, S. D'Antonio, K. Danzmann, N. S. Darman, V. Dattilo, I. Dave, H. P. Daveloza, M. Davier, G. S. Davies, E. J. Daw, R. Day, D. DeBra, G. Debreczeni, J. Degallaix, M. De Laurentis, S. Deléglise, W. Del Pozzo, T. Denker, T. Dent, H. Dereli, V. Der-gachev, R. DeRosa, R. De Rosa, R. DeSalvo, S. Dhurandhar, M. C. Díaz, L. Di Fiore, M. Di Giovanni, A. Di Lieto, I. Di Palma, A. Di Virgilio, G. Dojcinoski, V. Dolique, F. Donovan, K. L. Dooley, S. Doravari, R. Douglas, T. P. Downes, M. Drago, R. W. P. Drever, J. C. Driggers, Z. Du, M. Ducrot, S. E. Dwyer, T. B. Edo, M. C. Edwards, A. Ef.er, H.-B. Eggenstein, P. Ehrens, J. M. Eichholz, S. S. Eikenberry, W. Engels, R. C. Essick, T. Etzel, M. Evans, T. M. Evans, R. Everett, M. Factourovich, V. Fafone, H. Fair, S. Fairhurst, X. Fan, Q. Fang, S. Farinon, B. Farr, W. M. Farr, M. Favata, M. Fays, H. Fehrmann, M. M. Fejer, I. Ferrante, E. C. Ferreira, F. Ferrini, F. Fidecaro, I. Fiori, R. P. Fisher, R. Flaminio, M. Fletcher, J.-D. Fournier, S. Franco, S. Frasca, F. Frasconi, Z. Frei, A. Freise, R. Frey, T. T. Fricke, P. Fritschel, V. V. Frolov, P. Fulda, M. Fyffe, H. A. G. Gabbard, J. R. Gair, L. Gammaitoni, S. G. Gaonkar, F. Garu., A. Gatto, G. Gaur, N. Gehrels, G. Gemme, B. Gendre, E. Genin, A. Gen-nai, J. George, L. Gergely, V. Germain, A. Ghosh, S. Ghosh, J. A. Giaime, K. D. Giardina, A. Giazotto, K. Gill, A. Glaefke, E. Goetz, R. Goetz, L. Gondan, G. González, J. M. Gonzalez Castro, A. Gopakumar, N. A. Gordon, M. L. Gorodetsky, S. E. Gossan, M. Gosselin, R. Gouaty, C. Graef, P. B. Graff, M. Granata, A. Grant, S. Gras, C. Gray, G. Greco, A. C. Green, P. Groot, H. Grote, S. Grunewald, G. M. Guidi, X. Guo, A. Gupta, M. K. Gupta, K. E. Gushwa, E. K. Gustafson, R. Gustafson, J. J. Hacker, B. R. Hall, E. D. Hall, G. Ham-mond, M. Haney, M. M. Hanke, J. Hanks, C. Hanna, M. D. Hannam, J. Hanson, T. Hardwick, J. Harms,

G. M. Harry, I. W. Harry, M. J. Hart, M. T. Hartman, C.-J. Haster, K. Haughian, A. Heidmann, M. C. Heintze, H. Heitmann, P. Hello, G. Hem-ming, M. Hendry, I. S. Heng, J. Hennig, A. W. Heptonstall, M. Heurs, S. Hild, D. Hoak, K. A. Hodge, D. Hofman, S. E. Hollitt, K. Holt, D. E. Holz, P. Hopkins, D. J. Hosken, J. Hough, E. A. Houston, E. J. Howell, Y. M. Hu, S. Huang, E. A. Huerta, D. Huet, B. Hughey, S. Husa, S. H. Huttner, T. Huynh-Dinh, A. Idrisy, N. Indik, D. R. Ingram, R. Inta, H. N. Isa, J.-M. Isac, M. Isi, G. Islas, T. Isogai, B. R. Iyer, K. Izumi, T. Jacqmin, H. Jang, K. Jani, P. Jaranowski, S. Jawahar, F. Jiménez-Forteza, W. W. Johnson, D. I. Jones, R. Jones, R. J. G. Jonker, L. Ju, H. K, C. V. Kalaghatgi, V. Kalogera, S. Kandhasamy, G. Kang, J. B. Kanner, S. Karki, M. Kasprzack, E. Katsavounidis, W. Katzman, S. Kaufer, T. Kaur, K. Kawabe, F. Kawazoe, F. Kéfélian, M. S. Kehl, D. Keitel, D. B. Kelley, W. Kells, R. Ken-nedy, J. S. Key, A. Khalaidovski, F. Y. Khalili, S. Khan, Z. Khan, E. A. Khazanov, N. Kijbunchoo, C. Kim, J. Kim, K. Kim, N. Kim, N. Kim, Y.-M. Kim, E. J. King, P. J. King, D. L. Kinzel, J. S. Kissel, L. Kleybolte, S. Klimenko, S. M. Koehlenbeck, K. Kokeyama, S. Koley, V. Kondrashov, A. Kontos, M. Korobko, W. Z. Korth, I. Kowalska, D. B. Kozak, V. Kringel, B. Krishnan, A. Królak, C. Krueger, G. Kuehn, P. Kumar, L. Kuo, A. Kutynia, B. D. Lackey, M. Landry, J. Lange, B. Lantz, P. D. Lasky, A. Laz-zarini, C. Lazzaro, P. Leaci, S. Leavey, E. Lebigot, C. H. Lee, H. K. Lee, H. M. Lee, K. Lee, M. Leonardi, J. R. Leong, N. Leroy, N. Letendre, Y. Levin, B. M. Levine, T. G. F. Li, A. Lib-son, T. B. Littenberg, N. A. Lockerbie, J. Logue, A. L. Lom-bardi, J. E. Lord, M. Lorenzini, V. Loriette, M. Lormand, G. Losurdo, J. D. Lough, H. Lück, A. P. Lundgren, J. Luo, R. Lynch, Y. Ma, T. MacDonald, B. Machenschalk, M. MacIn-nis, D. M. Macleod, F. Maga.a-Sandoval, R. M. Magee, M. Mageswaran, E. Majorana, I. Maksimovic, V. Malvezzi, N. Man, I. Mandel, V. Mandic, V. Mangano, G. L. Mansell, M. Manske, M. Mantovani, F. Marchesoni, F. Marion, S. Márka, Z. Márka, A. S. Markosyan, E. Maros, F. Martelli, L. Martellini, I. W. Martin, R. M. Martin, D. V. Martynov, J. N. Marx, K. Mason, A. Masserot, T. J. Massinger, M. Masso-Reid, F. Matichard, L. Matone, N. Mavalvala, N. Mazumder, G. Mazzolo, R. McCarthy, D. E. McClelland, S. McCormick, S. C. McGuire, G. McIntyre, J. McIver, D. J. McManus,

S. T. McWilliams, D. Meacher, G. D. Meadors, J. Meidam, A. Mela tos, G. Mendell, D. Mendoza-Gandara, R. A. Mercer, E. Mer-ilh, M. Merzougui, S. Meshkov, C. Messenger, C. Messick, P. M. Meyers, F. Mezzani, H. Miao, C. Michel, H. Middleton, E. E. Mikhailov, L. Milano, J. Miller, M. Millhouse, Y. Minen-kov, J. Ming, S. Mirshekari, C. Mishra, S. Mitra, V. P. Mitro-fanov, G. Mitselmakher, R. Mittleman, A. Moggi, S. R. P. Mohapatra, M.Montani, B.C.Moore, C.J.Moore, D.Moraru, G. Moreno, S. R. Morriss, K. Mossavi, B. Mours, C. M. Mow-Lowry, C. L. Mueller, G. Mueller, A. W. Muir, A. Mukherjee, D. Mukherjee, S. Mukherjee, A. Mullavey, J. Munch, D. J. Mur-phy, P. G. Murray, A. Mytidis, I. Nardecchia, L. Naticchioni, R. K. Nayak, V. Necula, K. Nedkova, G. Nelemans, M. Neri, A. Neunzert, G. Newton, T. T. Nguyen, A. B. Nielsen, S. Nis-sanke, A. Nitz, F. Nocera, D. Nolting, M. E. N. Normandin, L. K. Nuttall, J. Oberling, E. Ochsner, J. O'Dell, E. Oelker, G. H. Ogin, J. J. Oh, S. H. Oh, F. Ohme, M. Oliver, P. Opper-mann, R. J. Oram, B. O'Reilly, R. O'Shaughnessy, C. D. Ott, D. J. Ottaway, R. S. Ottens, H. Overmier, B. J. Owen, A. Pai, S. A. Pai, J. R. Palamos, O. Palashov, C. Palomba, A. Pal-Singh, H. Pan, C. Pankow, F. Pannarale, B. C. Pant, F. Paoletti, A. Paoli, M. A. Papa, H. R. Paris, W. Parker, D. Pascucci, A. Pasqualetti, R. Passaquieti, D. Passuello, Z. Patrick, B. L. Pearlstone, M. Pedraza, R. Pedurand, L. Pekowsky, A. Pele, S. Penn, R. Pereira, A. Perreca, M. Phelps, O. Piccinni, M. Pichot, F. Pier-giovanni, V. Pierro, G. Pillant, L. Pinard, I. M. Pinto, M. Pitkin, R. Poggiani, A. Post, J. Powell, J. Prasad, V. Predoi, S. S. Prem-achandra, T. Prestegard, L. R. Price, M. Prijatelj, M. Principe, S. Privitera, R. Prix, G. A. Prodi, L. Prokhorov, M. Punturo, P. Puppo, M. Pürrer, H. Qi, J. Qin, V. Quetschke, E. A. Quin-tero, R. Quitzow-James, F. J. Raab, D. S. Rabeling, H. Radkins, P. Raffai, S. Raja, M. Rakhmanov, P. Rapagnani, V. Raymond, M. Razzano, V. Re, J. Read, C. M. Reed, T. Regimbau, L. Rei, S. Reid, D. H. Reitze, H. Rew, F. Ricci, K. Riles, N. A. Robert-son, R. Robie, F. Robinet, A. Rocchi, L. Rolland, J. G. Rollins, V.J. Roma, J.D.Romano, R.Romano, G.Romanov, J.H.Romie, D.Rosínska, S.Rowan, A.Rüdiger, P.Ruggi, K.Ryan, S.Sachdev, T. Sadecki, L. Sadeghian, M. Saleem, F. Salemi, A. Samajdar, L. Sammut, E. J. Sanchez, V. Sandberg, B. Sandeen, J. R.

San-ders, B. Sassolas, B. S. Sathyaprakash, P. R. Saulson, O. Sauter, R. L. Savage, A. Sawadsky, P. Schale, R. Schilling, J. Schmidt, P. Schmidt, R. Schnabel, A. Schnbeck, R. M. S. Scho.eld, E. Schreiber, D. Schuette, B. F. Schutz, J. Scott, S. M. Scott, D. Sellers, D. Sentenac, V. Sequino, A. Sergeev, G. Serna, Y. Sety-awati, A. Sevigny, D. A. Shaddock, S. Shah, M. S. Shahriar, M. Shaltev, Z. Shao, B. Shapiro, P. Shawhan, A. Sheperd, D. H. Shoemaker, D. M. Shoemaker, K. Siellez, X. Siemens, D. Sigg, A. D. Silva, D. Simakov, A. Singer, L. P. Singer, A. Singh, R. Singh, A. M. Sintes, B. J. J. Slagmolen, J. R. Smith, N. D. Smith, R. J. E. Smith, E. J. Son, B. Sorazu, F. Sorrentino, T. Sou-radeep, A. K. Srivastava, A. Staley, M. Steinke, J. Steinlechner, S. Steinlechner, D. Steinmeyer, B. C. Stephens, R. Stone, K. A. Strain, N. Straniero, G. Stratta, N. A. Strauss, S. Strigin, R. Stur-ani, A. L. Stuver, T. Z. Summerscales, L. Sun, P. J. Sutton, B. L. Swinkels, M.J.Szczepanczyk, M.Tacca, D.Talukder, D.B.Tan-ner, M.Tápai, S.P.Tarabrin, A.Taracchini, R.Taylor, T.Theeg, M. P. Thirugnanasambandam, E. G. Thomas, M. Thomas, P. Thomas, K. A. Thorne, K. S. Thorne, E. Thrane, S. Tiwari, V. Tiwari, K. V. Tokmakov, C. Tomlinson, M. Tonelli, C. V. Tor-res, C. I. Torrie, D. T.yr., F. Travasso, G. Traylor, D. Tri.ro, M. C. Tringali, L. Trozzo, M. Tse, M. Turconi, D. Tuyenbayev, D. Ugolini, C. S. Unnikrishnan, A. L. Urban, S. A. Usman, H. Vahlbruch, G. Vajente, G. Valdes, N. van Bakel, M. van Beuzekom, J. F. J. van den Brand, C. van den Broeck, L. van der Schaaf, M. V. van der Sluys, J. V. van Heijningen, A. A. van Veggel, M. Vardaro, S. Vass, M. Vasúth, R. Vaulin, A. Vecchio, G. Vedovato, J. Veitch, P. J. Veitch, K. Venkateswara, D. Ver-kindt, F. Vetrano, A. Viceré, S. Vinciguerra, J.-Y. Vinet, S. Vitale, T. Vo, H. Vocca, C. Vorvick, W. D. Vousden, S. P. Vyatchanin, A. R. Wade, L. E. Wade, M. Wade, M. Walker, L. Wallace, S. Walsh, G. Wang, H. Wang, M. Wang, X. Wang, Y. Wang, R. L. Ward, J. Warner, M. Was, B. Weaver, L.-W. Wei, M. Wei-nert, A. J. Weinstein, R. Weiss, T. Welborn, L. Wen, P. Wessels, T.Westphal, K.Wette, J.T.Whelan, S.E.Whitcomb, D.J.White, B. F. Whiting, R. D. Williams, A. R. Williamson, J. L. Willis, B. Willke, M. H. Wimmer, W. Winkler, C. C. Wipf, H. Wittel, G. Woan, J. Worden, J. L. Wright, G. Wu, J. Yablon, W. Yam, H. Yamamoto, C. C. Yancey, M. J. Yap, H. Yu,

M. Yvert, A.Zadro.ny, L.Zangrando, M.Zanolin, J.-P.Zendri, M.Zevin, F. Zhang, L. Zhang, M. Zhang, Y. Zhang, C. Zhao, M. Zhou, Z. Zhou, X. J. Zhu, M. E. Zucker, S. E. Zuraw, J. Zweizig.

注释

第1章 黑洞碰撞

The quotation on page 5, “a change in distance comparable to less than a human hair relative to 100 billion times the circumference of the world,” is excerpted from the following source: Tyson, Anthony. Testimony for the House of Representatives’ hearing of the Committee on Science, Space, and Technology, March 13, 1991.

第2章 宇宙的声音

Throughout the book, I edited together several of my own interviews with Rainer Weiss conducted over many meetings between 2013 and 2015 with the interview by Shirley Cohen for the Caltech Archives Oral History Project, cited below. In some cases, Rai’s responses were similar enough to those in the Shirley Cohen interview that I preferred to use her transcription out of deference to the earlier date of her interview.

Weiss, Rainer. Interview by Shirley Cohen. Pasadena, California, May 10, 2000. Oral History Project, California Institute of Technol-ogy Archives.

Weiss, Rainer. Interviews by the author. From a series of interviews between 2013 and 2015.

第3章 广义相对论

All quotes from Kip Thorne are drawn from Thorne, Kip.

Interview by the author. From a series of interviews between 2013 and 2015.

For much of the history of general relativity I relied on the excellent book by the astrophysicist Pedro Ferreira: A Perfect Theory: A Century of Geniuses and the Battle over General Relativity. New York: Houghton Mif.in Harcourt Publishing Company, 2014.

Thorne, Kip S. Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy. New York: W. W. Norton & Company, Inc., 1995.

Wheeler, John Archibald. Geons, Black Holes, and Quantum Foam: A Life in Physics. New York: W. W. Norton & Company, Inc., 1998.

The number of PhDs Wheeler mentored was taken from Terry M. Christensen, "John Wheeler's Mentorship: An Enduring Legacy," Physics Today 62, no. 4 (August 2009): 55.

第4章 引力波探测先驱

Drever, Ronald P. Interview by Shirley Cohen. Pasadena, California, May 10, 2000. Oral History Project, California Institute of Technol-ogy Archives.

Outside of Ron's own words, I am grateful to Ian Drever for sharing his recollections of their childhood. I borrow liberally and gratefully from the following document: Drever, John (Ian). Private communication of a document Dr. Ian Drever wrote about his family and his older brother Ronald, October 2015.

第5章 错误的宣言

All quotes from Joe Weber are drawn from Weber, Joseph.

Interview by Kip Thorne conducted during research on his book Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy, July 20, 1982. Cali-fornia Institute of Technology Archives.

All quotes from Ron Drever drawn from Drever, Ronald P. Interview by Shirley Cohen. Pasadena, California. Session 1: January 21, 1997. Session 2: February 10, 1997. Session 3: February 25, 1997. Session 4: March 13, 1997. Session 5: June 3, 1997. Oral History Project, California Institute of Technology Archives.

Bartusiak, Marcia. Einstein's Un.nished Symphony: Listening to the Sounds of Spacetime, Washington, D.C.: Joseph Henry Press, 2000.

Collins, Harry. Gravity's Shadow: The Search for Gravitational Waves. Chicago: The University of Chicago Press, 2004.

Dyson, Freeman. "Gravitational Machines." In Interstellar Communication: A Collection of Reprints and Original Contributions, edited by A. G. W. Cameron, 115. New York: W. A. Benjamin, 1963.

All quotes from Tony Tyson are drawn from Tyson, Anthony. Interview by the author, 2015.

第6章 "40米"实验室

Weiss, Rainer. Interviews by the author. From a series of interviews between 2013 and 2015.

Weiss, Rainer. Interview by Shirley Cohen. Pasadena, California, May 10, 2000. Oral History Project, California Institute of Technol-ogy Archives.

Mikhail E. Gertsenshtein and V. I. Pustovoit, "On the Detection of Low-Frequency Gravitational Waves," Soviet Physics——JETP 16, (1963): 433–435.

All quotes from Kip Thorne are drawn from Thorne, Kip. Inter-

views by the author. From a series of interviews between 2013 and 2015.

Isaacson, Richard. Interview by the author, 2015.

第7章 蓝皮书与三巨头

Weiss, Rainer. Interviews by the author. From a series of interviews between 2013 and 2015.

Weiss, Rainer. Interview by Shirley Cohen. Pasadena, California, May 10, 2000. Oral History Project, California Institute of Technol-ogy Archives.

All quotes from Ron Drever are drawn from Drever, Ronald P. Interview by Shirley Cohen. Pasadena, California. Session 1: Janu-ary 21, 1997. Session 2: February 10, 1997. Session 3: February 25, 1997. Session 4: March 13, 1997. Session 5: June 3, 1997. Oral History Project, California Institute of Technology Archives.

第8章 发现脉冲星

All quotes from Ron Drever are drawn from Drever, Ronald P. Inter-view by Shirley Cohen. Pasadena, California. Session 1: January 21, 1997. Session 2: February 10, 1997. Session 3: February 25, 1997. Ses-sion 4: March 13, 1997. Session 5: June 3, 1997. Oral History Project, California Institute of Technology Archives.

Bell Burnell, Jocelyn. Interview by the author, 2015.

The quotation on page 96, “Miss Bell, you have made . . . ,” is excerpted from Longair, Malcolm. The Cosmic Century: A History of Astrophysics and Cosmology. Cambridge, UK: Cambridge Univer-sity Press, 2006.

第9章 实验室里的开拓者

All quotes from Virginia Trimble are drawn from Trimble, Virginia. Interview by the author, 2014, except those speci.cally referenced in “Behind a Lovely Face, a 180 I.Q.” Life, October 19, 1962, pp. 98–99.

All quotes from Joe Weber are drawn from Weber, Joseph. Interview by Kip Thorne conducted during research on his book Black Holes and Time Warps: Einstein’s Outrageous Legacy, July 20, 1982. California Institute of Technology Archives.

Freeman Dyson letter from Collins: Collins, Harry. Gravity’s Shadow: The Search for Gravitational Waves. Chicago: The Univer-sity of Chicago Press, 2004.

第10章 汉福德天文台

Landry, Michael. Interviews by the author. From a series of interviews between 2012 and 2015.

Weiss, Rainer. Interviews by the author. From a series of interviews between 2013 and 2015.

Weiss, Rainer. Interview by Shirley Cohen. Pasadena, California, May 10, 2000. Oral History Project, California Institute of Technol-ogy Archives.

第11章 臭鼬工厂

The quote on page 132 “If I went back in, my colleagues would have . . .” is excerpted from a Caltech article to be found at http://calteches.library.caltech.edu/3432/1/Vogt.pdf.

Other quotes from Robbie Vogt are from Vogt, Rochus. Interview by the author, 2014.

Collins, Harry. Gravity's Shadow: The Search for Gravitational Waves. Chicago: The University of Chicago Press, 2004.

Quotes from Tony Tyson are from Tyson, Anthony. Interview by the author, 2015.

第12章 霍金的赌局

Ostriker, Jeremiah. Interview by the author, 2015.

Thorne, Kip. Interview by the author. From a series of interviews between 2013 and 2015.

The Stephen Hawking quote is from Thorne, Kip S. Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy. New York: W. W. Norton & Company, Inc., 1995.

See also: Hawking, Stephen. A Brief History of Time. New York: Bantam Dell Publishing Group, 1988.

第13章 罗生门事件

All quotes from Robbie Vogt are from Vogt, Rochus. Interview by the author, 2014.

All quotes from Stan Whitcomb are from Whitcomb, Stanley. Interviews by the author. From a series of interviews between 2012 and 2015.

All quotes from Ron Drever drawn from Drever, Ronald P. Interview by Shirley Cohen. Pasadena, California. Session 1: January 21, 1997. Session 2: February 10, 1997. Session 3: February 25, 1997. Ses-

sion 4: March 13, 1997. Session 5: June 3, 1997. Oral History Project, California Institute of Technology Archives.

Weiss, Rainer. Interviews by the author. From a series of interviews between 2013 and 2015.

Weiss, Rainer. Interview by Shirley Cohen. Pasadena, California, May 10, 2000. Oral History Project, California Institute of Technol-ogy Archives.

Goldreich, Peter. Interview by Shirley Cohen. Pasadena, California, March, April, November 1998. Oral History Project, California Institute of Technology Archives.

The memo referenced on p. 163 is undoubtedly in a manuscript collection that appears as an entry in the Caltech Archives titled Documents of the Drever-LIGO Controversy. Those documents are still sealed at the time of this writing.

第14章 利文斯顿天文台

Braginsky, Vladimir. Interview by Shirley Cohen, Pasadena, Califor-nia, January 15, 1997. Oral History Project, California Institute of Technology Archives.

Adhikari, Rana X. Interviews by the author. From a series of interviews between 2011 and 2015.

O’Reilly, Brian. Interviews by the author. From a series of interviews between 2013 and 2015.

González, Gabriela. Interviews by the author. From a series of interviews between 2013 and 2015.

Giaime, Joe. Interviews by the author. From a series of interviews between 2013 and 2015.

Barish, Barry. Interviews by the author. From a series of interviews between 2013 and 2015.

第16章 与时间赛跑

Vogt, Rochus. Interview by the author, 2014.

Thorne, Kip. Interviews by the author. From a series of interviews between 2013 and 2015.

Weiss, Rainer. Interviews by the author. From a series of interviews between 2013 and 2015.

Hough, James. Interview by the author, 2015.

图书在版编目（**CIP**）数据

引力波 /（美) 珍娜·莱文著；胡小锐，万慧译. -- 北京：中信出版社，2017.7
书名原文： Black Hole Blues and Other Songs from Outer Space
ISBN 978-7-5086-7699-9
I. ①引… II. ①珍… ②胡… ③万… III. ①引力波 - 普及读物 IV . ①P142.8-49
中国版本图书馆CIP数据核字（2017）第125390号

引力波
著者：[美] 珍娜·莱文
译者：胡小锐 万慧
出版发行：中信出版集团股份有限公司
（北京市朝阳区惠新东街甲4号富盛大厦2座 邮编100029）
电子书排版：萌芽图文

中信出版社官网：http://www.citicpub.com/
官方微博：http://weibo.com/citicpub
更多好书，尽在中信书院
中信书院：App下载地址https://book.yunpub.cn/（中信官方数字阅读平台）
微信号：中信书院